



TUGAS AKHIR - SF141501

**FABRIKASI DAN KARAKTERISASI
DIRECTIONAL COUPLER KONFIGURASI 3×3
PLANAR BERBAHAN SERAT OPTIK PLASTIK
STEP INDEX MODA JAMAK TIPE FD-620-10**

MOHAMMAD AINUL YAQIN
NRP 1111 100 701

Dosen Pembimbing
Drs. Gontjang Prajitno, M.Si.

JURUSAN FISIKA
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2015

“Halaman ini sengaja dikosongkan”



FINAL PROJECT - SF141501

**FABRICATION AND CHARACTERIZATION OF
DIRECTIONAL COUPLER 3×3 PLANAR
CONFIGURATION PLASTIC OPTICAL FIBER
MULTI-MODE STEP INDEX-TYPE FD-620-10**

**MOHAMMAD AINUL YAQIN
NRP 1111 100 701**

**Supervisor
Drs. Gontjang Prajitno, M.Si.**

**PHYSICS DEPARTEMENT
Faculty of Mathematics and Natural Science
Sepuluh Nopember Institute of Technology
Surabaya 2015**

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

LEMBAR PENGESAHAN

FABRIKASI DAN KARAKTERISASI *DIRECTIONAL COUPLER* KONFIGURASI 3×3 PLANAR BERBAHAN SERAT OPTIK PLASTIK *STEP INDEX* MODA JAMAK TIPE FD-620-10

TUGAS AKHIR

Diajukan untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Sains
pada
Bidang Studi Optoelektronika
Program Studi S-1 Jurusan Fisika
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

Moh. Ainul Yaqin

NRP 1111100701

Disetujui oleh Dosen Pembimbing Tugas Akhir:

Drs. Gontjang Prajitno, M.Si.



SURABAYA

JUNI, 2015

FABRIKASI DAN KARAKTERISASI *DIRECTIONAL COUPLER* KONFIGURASI 3×3 PLANAR BERBAHAN SERAT OPTIK PLASTIK *STEP-INDEX* MODA JAMAK TIPE FD-620-10

Nama Mahasiswa : Mohammad Ainul Yaqin
NRP : 1111 100 701
Jurusan : Fisika FMIPA-ITS
Dosen Pembimbing : Drs. Gontjang Prajitno, M.Si.

Abstrak

Dalam penelitian ini telah dilakukan fabrikasi dan karakterisasi directional coupler konfigurasi 3×3 planar berbahan serat optik plastik step index moda jamak tipe FD-620-10 dengan panjang kupasan 35 mm, 40 mm, 45 mm, 50 mm, 55 mm, 60 mm dan 65 mm menggunakan pendekatan metode Fused Biconical Tapered (FBT) yang menghasilkan karakteristik yang berbeda. Hasil karakterisasi directional coupler konfigurasi 3×3 planar menggunakan BF5R-D1-N menunjukkan bahwa semakin besar panjang kupasan maka semakin besar rugi daya dan semakin kecil intensitas cahaya yang diteruskan. Pada directional coupler konfigurasi 3×3 planar dengan panjang kupasan 60 mm dan input pada Port B1 didapatkan nilai $CR = 0.34 : 0.31 : 0.35$; $Le = -3.59 \text{ dB}$; $Lins = -8.24 \text{ dB}, -8.67 \text{ dB}, -8.19 \text{ dB}$; dan $D = -13.33 \text{ dB}, -13.43 \text{ dB}$. Piranti ini paling baik digunakan sebagai pembagi daya maupun pemecah berkas sehingga selanjutnya dapat digunakan sebagai piranti dalam sensor.

Kata kunci: Directional coupler konfigurasi 3×3 planar, fabrikasi, karakterisasi.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

**FABRICATION AND CHARACTERIZATION OF
DIRECTIONAL COUPLER WITH CONFIGURATION OF
3×3 PLANAR OF PLASTIC OPTICAL FIBER MULTI-
MODE STEP INDEX-TYPE FD-620-10**

Name of Student : Mohammad Ainul Yaqin
Identity Number : 1111 100 701
**Department : Physics Department, Faculty of
Mathematics and Natural Science-ITS**
Advisor : Drs. Gontjang Prajitno, M.Si.

Abstract

Research about fabrication and characterization of directional coupler with configuration of 3×3 planar of plastic optical fiber multi-mode step index-type FD-620-10 has been conducted with peeling length 35 mm, 40 mm, 45 mm, 50 mm, 55 mm, 60 mm and 65 mm using the approach method Fused Biconical Tapered (FBT) which produce different characteristics. Results of characterization of directional coupler 3×3 planar configuration using BF5R-D1-N shows that the greater length of peeling, the greater the power loss and the smaller the light intensity transmitted. In the directional coupler 3 × 3 planar configuration with peeling length 60 mm and input on Port B1 obtained value CR = 0.34 : 0.31 : 0.35 ; Le = -3.59 dB; Lins = -8.24 dB, -8.67 dB, -8.19 dB; and D = -13.33 dB, -13.43 dB. This device is best used as a power divider and the beam splitter so that the device can then be used as the sensor.

Keywords: Planar directional coupler configuration 3×3, fabrication, characterization.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

KATA PENGANTAR

Dengan menyebut nama Allah, segala puji hanya milik Allah, sholawat dan salam selalu tercurahkan kepada utusan Allah, nabi Muhammad SAW putra Abdullah, tiada daya upaya dan tiada kekuatan kecuali milik Allah. Dengan ijin Allah penulis telah menyelesaikan Laporan Tugas Akhir sebagai syarat wajib untuk memperoleh gelar sarjana pada jurusan Fisika FMIPA ITS dengan judul:

“FABRIKASI DAN KARAKTERISASI *DIRECTIONAL COUPLER* KONFIGURASI 3×3 PLANAR BERBAHAN SERAT OPTIK PLASTIK *STEP INDEX* MODA JAMAK TIPE FD-620-10”

Penulis mengucapkan banyak terima kasih kepada semua pihak yang telah membantu dalam penyelesaian tugas akhir dan perkuliahan di Institut Teknologi Sepuluh Nopember ini. Ucapan terima kasih khusus penulis sampaikan kepada:

1. Ayah, ibu, kakek, nenek, semua paman dan bibi tercinta atas segala do'a, motivasi dan dukungannya baik secara material maupun spiritual kepada Penulis.
2. Kementrian Agama RI yang telah memberikan beasiswa penuh kepada penulis selama menyelesaikan studi S1 di Fisika ITS ini dan telah memberikan dana penelitian kepada penulis sehingga sangat mendukung penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
3. Bapak Drs. Gontjang Prajitno, M.Si. selaku dosen pembimbing Tugas Akhir yang dengan penuh kesabaran memberikan bimbingan, wawasan, pemantauan, dan motivasi sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini dengan lancar.
4. Bapak Prof. Mahmud Zaki, M.Sc. dan Bapak Drs. Hasto Sunarno, M.Sc. selaku dosen penguji yang telah memberikan

- kritik dan saran sehingga banyak menambah wawasan bagi Penulis untuk menyelesaikan Tugas Akhir ini.
5. Bapak Endarko, M.Si, Ph.D. selaku dosen wali yang telah memberikan bimbingan, motivasi dan semangat serta wawasan selama kuliah di Fisika ITS.
 6. Bapak Dr. Yono Hadi Pramono, M. Eng. dan Bu Dr. Melania Suweni Muntini, M.T. selaku Ketua Jurusan dan Sekretaris Jurusan Fisika FMIPA ITS.
 7. Bapak Dr. Eko Minarto, M.Si. dan Bu Faridawati, M.Si. selaku Ketua Program Studi dan Sekretaris Program Studi S1 Jurusan Fisika FMIPA ITS.
 8. Kepala Laboratorium Optoelektronika, Kepala Laboratorium Instrumentasi, dan juga segenap staf laboran disana, Pak Miftahul Ghofar dan Bu Devy Fitri astatik, A.Md. yang telah membantu penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
 9. Seluruh Staf Pengajar dan karyawan di Jurusan Fisika ITS atas didikan, arahan dan motivasinya.
 10. Segenap karyawan PT. TELKOM Divisi Akses Sidoarjo, khususnya Bapak Anang, Bapak Agus, dan Bapak Nur atas bimbingan, motivasi dan wawasannya tentang serat optik sehingga Penulis lebih mudah menyelesaikan Tugas Akhir ini.
 11. Segenap Pembina CSSMoRA ITS, Bapak Dr. Agus Zainal Arifin, S.Kom, M.Kom, Bapak Dr. Darmaji, S.Si, MT. Ibu Ir. Mutiah Salamah Fauzi, M.Kes. & karyawan BAUK ITS yang telah memberikan bimbingan, pengarahan & mengurus beasiswa Penulis selama di ITS.
 12. Segenap Bapak Kyai, Ibu Nyai, Ustadz dan Ustadzah di PP. Darus Salam Keputih Surabaya dan PP. Zainul Hasan Genggong Probolinggo atas do'a dan bimbingannya.
 13. Rekan seperjuangan penelitian serat optik, Rahmi dan Afani serta teman-teman laboratorium Elektronika, Gusti, Fajar, Aris, Emy, Fristya dll atas kerja sama dan motivasinya dalam menyelesaikan Tugas Akhir dengan penuh suka dan duka.

14. Rekan-rekan seperjuangan penelitian Laboratorium Optoelektronika dan Laboratorium Instrumentasi, Mbak Rizqa, Mbak Lucky, Mbak Aril, Mas Yasin, Mas Haerul atas arahan, diskusi tentang serat optik, serta bantuannya.
15. Teman-teman Asisten Fisika Laboratorium bidang Optoelektronika yang turut memberikan motivasi kepada penulis.
16. Keluarga besar Foton 2011 dan SATU MASA D'11 atas kebersamaan, semangat, motivasi dan dukungan kepada penulis selama masa kuliah.
17. Teman-teman santri PP. Darus Salam Keputih, Afiq, Azenk, Daus, Alfin, Ma'sum, Hafidz, Rozi, Mas Fawaid dll. atas motivasi, kebersamaan, dan dukungan kepada penulis.
18. Teman seperjuangan organisasi CSSMoRA ITS, FOSIF ITS dan HIMASIKA ITS.
19. Neng Qorin, yang menjadi penyemangat Penulis.

Penulis menyadari bahwa masih banyak kekurangan pada Tugas Akhir ini. Kritik dan saran selalu Penulis harapkan demi kesempurnaan penulisan Tugas Akhir ini. Semoga Tugas Akhir ini bermanfaat bagi perkembangan ilmu pengetahuan serta memberikan inspirasi bagi pembaca.

Surabaya, 30 Juni 2015

Penulis

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
LEMBAR PENGESAHAN	v
ABSTRAK	vii
ABSTRACT	ix
KATA PENGANTAR	xi
DAFTAR ISI	xv
DAFTAR GAMBAR	xvii
DAFTAR TABEL	xix
DAFTAR LAMPIRAN	xxi

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang	1
1.2 Perumusan Masalah.....	3
1.3 Batasan Masalah.	3
1.4 Tujuan Penelitian.	4
1.5 Manfaat Penelitian	4
1.6 Sistematika Laporan	4

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Pantulan Dalam Total.....	7
2.2 Tingkap Numerik/ <i>Numerical Aperture</i>	8
2.3 Persamaan Pandu Gelombang pada Koordinat Silinder (Serat Optik).....	10
2.4 Karakteristik <i>Directional Coupler</i> Serat Optik 3×3.....	15

BAB III METODOLOGI

3.1 Alat dan Bahan	19
3.2 Diagram Alir Penelitian	19

3.2.1 Tahap Persiapan.....	20
3.2.1.1 Pembuatan alat pengupas <i>coating</i> dan <i>cladding</i>	20
3.2.2 Tahap fabrikasi <i>directional coupler</i>	22
3.2.3 Karakterisasi <i>directional coupler</i> hasil fabrikasi menggunakan BF5R-D1-N.....	26

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Fabrikasi <i>Directional Coupler</i>	29
4.2 Hasil Karakterisasi <i>Directional Coupler</i> Menggunakan BF5R-D1-N	30
4.3 Pembahasan.....	37

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan	43
5.2 Saran	43

DAFTAR PUSTAKA	45
-----------------------------	----

LAMPIRAN	47
-----------------------	----

BIODATA PENULIS	85
------------------------------	----

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1	Spesifikasi BF5R-D1-N	27
Tabel 4.1	Data Hasil Karakterisasi <i>Directional Coupler</i> dengan Daya <i>Input</i> pada Port B1	30
Tabel 4.2	Data Hasil Karakterisasi <i>Directional Coupler</i> dengan Daya <i>Input</i> pada Port A1	30
Tabel 4.3	Data Hasil Karakterisasi <i>Directional Coupler</i> dengan Daya <i>Input</i> pada Port C1	31
Tabel 4.4	Prosentase <i>Output Directional Coupler</i> Konfigurasi 3×3 Planar dengan Sinyal <i>Input</i> pada Port B1	31
Tabel 4.5	Prosentase <i>Output Directional Coupler</i> Konfigurasi 3×3 Planar dengan Sinyal <i>Input</i> pada Port A1	32
Tabel 4.6	Prosentase <i>Output Directional Coupler</i> Konfigurasi 3×3 Planar dengan Sinyal <i>Input</i> pada Port C1	32
Tabel 4.7	Karakteristik <i>Directional Coupler</i> dengan Panjang Kupasan 35 mm	34
Tabel 4.8	Karakteristik <i>Directional Coupler</i> dengan Panjang Kupasan 40 mm	35
Tabel 4.9	Karakteristik <i>Directional Coupler</i> dengan Panjang Kupasan 45 mm	35
Tabel 4.10	Karakteristik <i>Directional Coupler</i> dengan Panjang Kupasan 50 mm	36
Tabel 4.11	Karakteristik <i>Directional Coupler</i> dengan Panjang Kupasan 55 mm	36
Tabel 4.12	Karakteristik <i>Directional Coupler</i> dengan Panjang Kupasan 60 mm	37
Tabel 4.13	Karakteristik <i>Directional Coupler</i> dengan Panjang Kupasan 65 mm	37

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Pemantulan dan pembiasan berkas cahaya pada bidang batas dua medium.....	7
Gambar 2.2	Mekanisme perambatan sinar pada serat optik <i>step-index</i>	9
Gambar 2.3	Kapasitas cahaya pada serat dengan NA besar lebih banyak dari pada serat dengan NA kecil.....	10
Gambar 2.4	Geometri serat optik dalam koordinat Silinder.....	12
Gambar 2.5	Distribusi radial amplitudo medan di core dan cladding untuk orde 0 dan 3.....	14
Gambar 2.6	Dua tipe konfigurasi coupler 3×3: (a) segitiga dan (b) planar.....	16
Gambar 3.1	Diagram Alir Tahapan Penelitian.....	20
Gambar 3.2	Desain rancangan alat pengupas <i>coating</i> dan <i>cladding</i>	21
Gambar 3.3	Alat pengupas <i>coating</i> dan <i>cladding</i>	22
Gambar 3.4	Proses pengupasan <i>coating</i> dan <i>cladding</i>	22
Gambar 3.5	Hasil kupasan serat optik.....	23
Gambar 3.6	Proses pemolesan.....	24
Gambar 3.7	Tahap penggandengan <i>directional coupler</i>	25
Gambar 3.8	Proses penggandengan <i>directional coupler</i>	25
Gambar 3.9	Desain hasil fabrikasi <i>directional coupler</i>	26
Gambar 3.10	Alat BF5R-D1-N.....	26
Gambar 3.11	<i>Set up</i> alat pada proses karakterisasi menggunakan BF5R-D1-N pada <i>directional coupler</i>	28
Gambar 3.12	Proses karakterisasi <i>directional coupler</i> menggunakan BF5R-D1-N.....	28
Gambar 4.1	Hasil fabrikasi <i>directional coupler</i> konfigurasi 3×3 planar dengan panjang kupasan berturut-turut 35 mm, 40 mm, 45 mm, 50 mm, dan 55 mm.....	29
Gambar 4.2	Grafik Pengaruh Panjang Kupasan terhadap	

	Prosentase Intensitas Cahaya Pada Tiap <i>Output</i> dengan Port B1 sebagai Sinyal <i>Input</i>	33
Gambar 4.3	Grafik Pengaruh Panjang Kupasan terhadap Prosentase Intensitas Cahaya Pada Tiap <i>Output</i> dengan Port A1 sebagai Sinyal <i>Input</i>	33
Gambar 4.4	Grafik Pengaruh Panjang Kupasan terhadap Prosentase Intensitas Cahaya Pada Tiap <i>Output</i> dengan Port C1 sebagai Sinyal <i>Input</i>	34

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran A	Data Hasil Karakterisasi <i>Directional Coupler</i> Konfigurasi 3×3 Planar Menggunakan BF5R-D1- N.....	47
Lampiran B	Datasheet BF5R-D1-N.....	67
Lampiran C	Datasheet FD-620-10.....	83

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Serat optik merupakan media tranmisi gelombang cahaya yang dapat dimanfaatkan sebagai sensor untuk mengukur berbagai parameter seperti temperatur, pergeseran, kelembaban, tekanan, laju aliran fluida, laju rotasi, konsentrasi suatu larutan, serta analisis kimia. Keunggulan serat optik sebagai sensor diantaranya yaitu tidak kontak langsung dengan obyek pengukuran, tidak menggunakan arus listrik, akurasi pengukuran yang tinggi, tidak terpengaruh oleh medan listrik maupun medan magnet, dapat dimonitor dari jarak jauh, dapat dihubungkan dengan sistem komunikasi data melalui perangkat antar muka (*interface*) serta dimensinya kecil dan ringan. Prinsip kerja dari serat optik sebagai sensor berbasis pada modulasi panjang gelombang, modulasi intensitas, dan modulasi fase cahaya sebagai isyarat (Pramono, 2008).

Dalam perkembangannya, serat optik tidak hanya berfungsi mentransmisikan informasi saja, tetapi berkembang menjadi piranti optik dengan fungsi yang lebih luas. Piranti optik tersebut dapat berbentuk *coupler* dengan berbagai macam variasinya seperti *directional coupler*, *Y coupler* dan *star coupler* yang berfungsi sebagai *optical switching*, *multiplexing*, *demultiplexing* pada perangkat WDM (*Wavelength Division Multiplexing*) maupun *beam splitter* atau *power divider* untuk perangkat interferometer serat optik. Disamping sebagai piranti optik, coupler khususnya *directional coupler* dari bahan serat optik singlemode maupun multimode juga dapat dimanfaatkan sebagai sensor pergeseran yang berbasis modulasi intensitas (Samian, 2008).

Coupler merupakan piranti optik pasif yang berfungsi sebagai penggabung dua atau lebih panjang gelombang atau sinyal ke dalam serat optik tunggal serta memecah/membagi sinyal menjadi dua atau lebih. *Directional coupler* adalah termasuk

coupler yang paling dikembangkan. Terdapat beberapa metode pembuatan *directional coupler* berbahan serat optik plastik yang digunakan sebagai piranti komunikasi jarak pendek. Metode yang ada untuk mengembangkan coupler adalah metode *fused coupler*, salah satu teknik pembuatan coupler yang paling terkenal. Proses pembuatannya sederhana dimana dua serat optik didekatkan dan ditempelkan dengan panjang kopling tertentu dan dipadukan pada daerah kopling tersebut (Ab-Rahman, 2014).

Fabrikasi *directional coupler* konfigurasi 2×2 telah banyak dilakukan oleh peneliti-peneliti sebelumnya. Diantaranya yaitu *directional coupler* dari bahan serat optik *plastic step index multimode* tipe FD-320-05 ($200/500 \mu\text{m}$) telah dilakukan dengan metode *Fused Biconical Tapered* yang digunakan untuk pembagi daya (*power divider*). *Directional coupler* yang dihasilkan memiliki *coupling ratio* 0,31 pada panjang interaksi kopling antar serat optik 25 mm (Supadi, 2006).

Penelitian berikutnya yaitu fabrikasi *directional coupler* pada bahan serat optik *plastic step index multimode* tipe FD-620-10 ($950/1000 \mu\text{m}$) yang mudah diperoleh di pasaran dengan panjang kopling lebih besar dari 25 mm diperoleh nilai *coupling ratio* 0,498 yang sesuai untuk piranti pembagi daya (*power divider*) (Hariyanto, 2011). Rahayu dan Yudoyono (Rahayu, 2013) melanjutkan penelitian Hariyanto memfabrikasi *directional coupler* dan *double coupler* dengan bahan yang sama namun dengan panjang kopling yang berbeda. Dihasilkan *directional coupler* dan *double coupler* yang memenuhi standar fabrikasi, yaitu dengan nilai *coupling ratio* 0,491 pada *directional coupler* dan 0,492 pada *double coupler* dengan panjang kopling 34 mm.

Pemilihan serat optik dengan diameter *core* yang cukup besar karena jenis serat optik ini sering digunakan sebagai sensor pergeseran yang berbasis pada modulasi intensitas, seperti yang telah dilakukan oleh Mubasiroh yang memanfaatkan *directional coupler* dan *double coupler* sebagai sensor pergeseran berdimensi mikro (Mubasiroh, 2013). Selain digunakan sebagai

sensor pergeseran, *directional coupler* dan *double coupler* juga dimanfaatkan sebagai sensor kemolaran larutan NaCl (Megawati, 2013).

Sementara *directional coupler* konfigurasi 3×3 masih jarang difabrikasi oleh peneliti-peneliti Indonesia. Padahal sudah banyak difabrikasi dan dimanfaatkan oleh peneliti luar negeri. Misalnya yang telah dilakukan oleh Sun yaitu memfabrikasi *directional coupler* serat optik 3×3 (Sun, 1989), dan juga fabrikasi interferometer serat optik dengan *directional coupler* 3×3 (Sheem, 1981), serta fabrikasi interferometer menggunakan coupler 3×3 dan cermin Faraday (Breguet, 1995).

Dalam penelitian ini, *directional coupler* konfigurasi 3×3 planar difabrikasi menggunakan bahan serat optik plastik *step index* moda jamak tipe FD-620-10 dengan metode *Fused Biconical Tapered* (FBT) pada variasi panjang kupasan yaitu 35 mm, 40 mm, 45 mm, 50 mm, 55 mm, 60 mm, dan 65 mm.

1.2. Perumusan Masalah

Permasalahan yang dibahas dalam penelitian tugas akhir ini adalah bagaimana fabrikasi dan karakterisasi *directional coupler* konfigurasi 3×3 planar berbahan serat optik plastik *step index* moda jamak tipe FD-620-10 dengan panjang kupasan 35 mm, 40 mm, 45 mm, 50 mm, 55 mm, 60 mm, dan 65 mm dengan metode *fused biconical tapered*.

1.3. Batasan Masalah

Batasan masalah dalam penelitian tugas akhir ini antara lain:

1. Fabrikasi *directional coupler* konfigurasi 3×3 planar dilakukan menggunakan serat optik plastik *step index* moda jamak tipe FD-620-10 dengan panjang kupasan 35 mm, 40 mm, 45 mm, 50 mm, 55 mm, 60 mm, dan 65 mm dengan metode *fused biconical tapered*.

2. Karakterisasi *directional coupler* konfigurasi 3×3 planar menggunakan BF5R-D1-N buatan *autonics* yang merupakan sensor khusus untuk menganalisis daya keluaran yang di terima dari fiber optik. Sumber yang digunakan adalah *digital indicating type fiber optic sensor* (BF5R-D1-N) yang disambungkan pada *power supply*. Sensor ini memiliki lubang masukan berupa cahaya merah (660 nm) dan lubang keluaran berupa foto detektor dengan mengetahui intensitas keluaran pada kelima port sehingga diperoleh parameter-parameter *coupling ratio* (CR), *directivity* (D), *excess loss* (Le) dan *insertion loss* (Lins).

1.4. Tujuan Penelitian

Tujuan yang hendak dicapai dalam penelitian tugas akhir ini adalah memfabrikasi dan mengkarakterisasi *directional coupler* konfigurasi 3×3 planar berbahan serat optik plastik *step index* moda jamak tipe FD-620-10 dengan panjang kupasan 35 mm, 40 mm, 45 mm, 50 mm, 55 mm, 60 mm, dan 65 mm dengan metode *fused biconical tapered*.

1.5. Manfaat Penelitian

Hasil dari penelitian tugas akhir ini diharapkan dapat memberi kebermanfaatan diantaranya hasil fabrikasi dan karakterisasi *directional coupler* konfigurasi 3×3 planar dapat dimanfaatkan sebagai sensor gyroskop serat optik, interferometer serat optik Mach-Zehnder dan piranti serat optik lainnya yang menggunakan coupler 3×3.

1.6. Sistematika Laporan

Sistematika laporan tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Bab I Pendahuluan, berisi latar belakang, perumusan masalah, batasan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, dan sistematika laporan.
2. Bab II Tinjauan Pustaka, berisi teori yang menunjang penelitian dan analisis.

3. Bab III Metodologi, berisi peralatan dan bahan yang digunakan dalam penelitian serta uraian lengkap tahapan penelitian.
4. Bab IV Hasil dan Pembahasan, berisi data hasil fabrikasi dan karakterisasi yang dilakukan serta analisis dan pembahasan.
5. Bab V Kesimpulan dan Saran, berisi kesimpulan dari penelitian dan saran untuk penelitian lebih lanjut.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

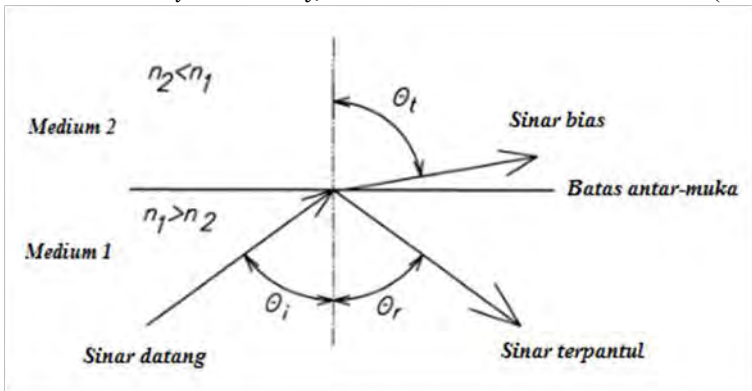
2.1. Pantulan Dalam Total

Cahaya yang merambat di dalam serat optik dipengaruhi oleh indeks bias medium dielektrik. Kecepatan cahaya yang merambat di dalam medium yang rapat lebih rendah daripada di dalam medium yang renggang (Widodo, 1995). Indeks bias n medium didapatkan dari persamaan berikut:

$$n = \frac{c}{v} \quad (2.1)$$

dimana c adalah kecepatan cahaya di dalam ruang hampa udara (3×10^8 m/s) dan v adalah kecepatan cahaya di dalam medium. (catatan: nilai n selalu lebih besar dari 1; untuk kaca, n antara 1,4 dan 1,5) Agar terjadi pantulan dalam total, indeks bias medium sinar datang (*core*) harus lebih besar daripada indeks bias medium sinar bias (*cladding*). Hukum Snellius menentukan transmisi gelombang melalui bidang batas dua medium dielektrik yang berbeda dan secara matematis dituliskan sebagai (Powers, 1997):

$$n_1 \sin \theta_i = n_2 \sin \theta_t, \quad (2.2)$$



Gambar 2.1. Pemantulan dan pembiasan berkas cahaya pada bidang batas dua medium (Power, 1997)

Dimana θ_i adalah sudut datang dan θ_t adalah sudut bias. Dari hubungan ini, θ_t mencapai 90° ketika θ_i mencapai nilai:

$$\theta_i = \theta_c = \sin^{-1} \left(\frac{n_2}{n_1} \right) \quad (2.3)$$

Dimana θ_c disebut sudut kritis sinar datang. Sinar datang dengan sudut yang sama atau lebih besar dari sudut kritis akan dipantulkan kembali ke medium 1. Inilah prinsip pantulan dalam total yang memandu cahaya di dalam serat optik tanpa rugi daya. Cahaya dengan sudut datang di bawah sudut kritis, sebagian dibiaskan dan sebagian dipantulkan, rugi daya disebabkan oleh berkas sinar yang dibiaskan (Powers, 1997).

2.2. Tingkap Numerik/*Numerical Aperture*

Agar sinar dapat terpandu didalam core serat optik, perlu diperhatikan sudut sinar masukan maksimum agar dihasilkan sinar yang membentuk sudut kritis. Sehingga hukum Snellius juga diterapkan pada bidang batas antara udara dan core sebagai berikut:

$$n_0 \sin \theta_{0,max} = n_1 \sin \phi_t \quad (2.4)$$

karena $\phi_t = \frac{\pi}{2} - \theta_c$, maka persamaan (2.4) menjadi (Agrawal, 2002):

$$n_0 \sin \theta_{0,max} = n_1 \cos \theta_c \quad (2.5)$$

dengan menggunakan relasi trigonometri $\sin^2 \theta_c + \cos^2 \theta_c = 1$, persamaan (2.5) dapat ditulis sebagai:

$$n_0 \sin \theta_{0,max} = n_1 \sqrt{1 - \sin^2 \theta_c} \quad (2.6)$$

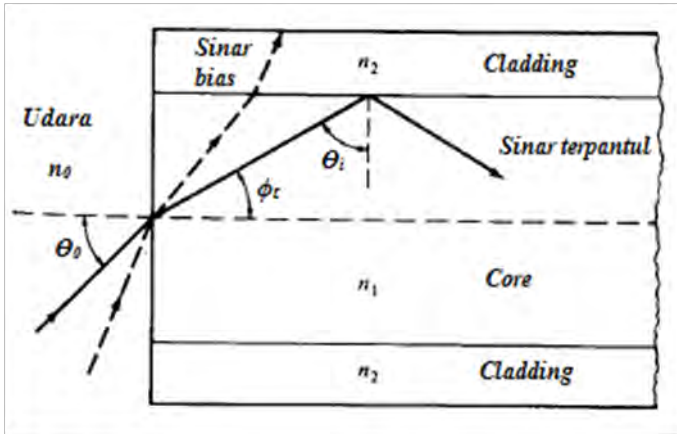
substitusi persamaan (2.3) ke persamaan (2.6), didapatkan (Supadi, 2006):

$$\begin{aligned} n_0 \sin \theta_{0,max} &= n_1 \sqrt{1 - \frac{n_2^2}{n_1^2}}, \\ n_0 \sin \theta_{0,max} &= \sqrt{n_1^2 - n_2^2}. \end{aligned} \quad (2.7)$$

maka sinar yang memiliki sudut masukan θ_0 lebih kecil dari $\theta_{0,max}$ akan dipantulkan seluruhnya pada bidang antarmuka core-cladding. Persamaan (2.7) juga didefinisikan sebagai tingkap numerik atau *numerical aperture* NA yang menyatakan

hubungan sudut sinar masukan dengan indeks bias ketiga medium (udara, core dan cladding)(Keiser, 1991).

$$NA = n_0 \sin \theta_{0,max} = \sqrt{n_1^2 - n_2^2} \quad (2.8)$$



Gambar 2. 2. Mekanisme perambatan sinar pada serat optik *step-index* (Keiser, 1991)

Perbedaan indeks bias antara *core* dan *cladding* (Δ) didefinisikan sebagai fraksi indeks bias:

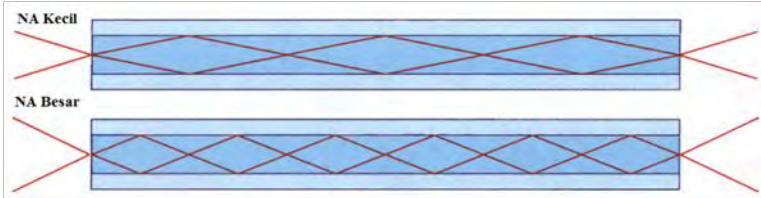
$$\Delta = \frac{n_1^2 - n_2^2}{2n_1^2} \approx \frac{n_1 - n_2}{n_1} \quad (2.9)$$

Selisih nilai n_1 dan n_2 sangat kecil, sehingga nilai Δ juga kecil. Untuk nilai $\Delta < 1$, disebut desain pandu gelombang pandu gelombang terpandu lemah (Powers, 1997). Nilai Δ untuk serat optik *multimode* berkisar pada rentang 1% hingga 3%, sedangkan untuk serat optik *singlemode* berkisar pada rentang 0,2% hingga 1% (Keiser, 1991). Dengan demikian, persamaan (2.8) juga dapat dinyatakan dengan:

$$NA = n_1 \sqrt{2\Delta} \quad (2.10)$$

Nilai NA pada serat optik *step-index* berkisar pada rentang 0,2 hingga 0,5 sedangkan pada serat optik *graded-index* berada di

sekitar 0,2 (Hoss, 1993). Untuk serat optik *step-index multimode* dari bahan plastik berdiameter *core* besar, nilai NA berkisar pada rentang 0,3-0,5 (Krohn, 2000).



Gambar 2.3 Kapasitas cahaya pada serat dengan NA besar lebih banyak dari pada serat dengan NA kecil (Saleh, 2007).

2.3. Persamaan Pandu Gelombang pada Koordinat Silinder (Serat Optik)

Untuk menganalisis pandu gelombang optik dibutuhkan persamaan Maxwell yang memberikan hubungan antara medan listrik dan medan magnet. Dengan mengasumsikan sebuah bahan dielektrik isotropik, linier, yang tidak memiliki arus dan muatan bebas, bentuk persamaan Maxwell menjadi:

$$\nabla \times \mathbf{E} = -\frac{\partial \mathbf{B}}{\partial t} \quad (2.11.a)$$

$$\nabla \times \mathbf{H} = \frac{\partial \mathbf{D}}{\partial t} \quad (2.11.b)$$

$$\nabla \cdot \mathbf{D} = 0 \quad (2.11.c)$$

$$\nabla \cdot \mathbf{B} = 0 \quad (2.11.d)$$

dimana $\mathbf{D} = \epsilon \mathbf{E}$ dan $\mathbf{B} = \mu \mathbf{H}$. Parameter ϵ adalah permitivitas medium atau konstanta dielektrik dan μ adalah permeabilitas medium (Keiser, 1991).

Persamaan (2.11.a) dan (2.11.b) menunjukkan bahwa antara medan listrik \mathbf{E} dan medan magnet \mathbf{H} saling terkopel satu sama lain. Dengan menerapkan operasi *curl* pada persamaan (2.11.a) dan menggunakan persamaan (2.11.b) dihasilkan:

$$\nabla \times (\nabla \times \mathbf{E}) = -\mu \frac{\partial}{\partial t} (\nabla \times \mathbf{H}) = -\epsilon \mu \frac{\partial^2 \mathbf{E}}{\partial t^2} \quad (2.12)$$

dengan menggunakan identitas vektor $\nabla \times (\nabla \times \mathbf{A}) = \nabla(\nabla \cdot \mathbf{A}) - \nabla^2 \mathbf{A}$, maka:

$$\nabla \times (\nabla \times \mathbf{E}) = \nabla(\nabla \cdot \mathbf{E}) - \nabla^2 \mathbf{E} \quad (2.13)$$

Dan dengan menggunakan persamaan (2.11.c) (bahwa, $\nabla \cdot \mathbf{E} = 0$), persamaan (2.12) menjadi:

$$\nabla^2 \mathbf{E} = \epsilon \mu \frac{\partial^2 \mathbf{E}}{\partial t^2} \quad (2.14)$$

Dengan cara yang sama, dengan menerapkan operasi *curl* pada persamaan (2.11.b), didapatkan:

$$\nabla^2 \mathbf{H} = \epsilon \mu \frac{\partial^2 \mathbf{H}}{\partial t^2} \quad (2.15)$$

Selanjutnya persamaan (2.14) dan (2.15) disebut persamaan gelombang (Keiser, 1991).

Bahan penyusun pandu gelombang optik biasanya berupa bahan dielektrik yang bersifat nonmagnetik, sehingga permeabilitasnya sama dengan permeabilitas ruang hampa, yaitu $\mu = \mu_0$. Dengan memanfaatkan hubungan permitivitas listrik $\epsilon = \epsilon_0 n^2$, maka persamaan (2.14) dapat dinyatakan dalam bentuk:

$$\nabla^2 \mathbf{E} = \mu_0 \epsilon_0 n^2 \frac{\partial^2 \mathbf{E}}{\partial t^2} \quad (2.16)$$

karena kecepatan cahaya di dalam medium dinyatakan sebagai $v = \frac{c}{n}$, dengan $c = \frac{1}{\sqrt{\mu_0 \epsilon_0}}$, maka persamaan (2.16) dapat ditulis sebagai:

$$\nabla^2 \mathbf{E} = \frac{n^2}{c^2} \frac{\partial^2 \mathbf{E}}{\partial t^2} \quad (2.17)$$

dan persamaan (2.15) dapat ditulis sebagai:

$$\nabla^2 \mathbf{H} = \frac{n^2}{c^2} \frac{\partial^2 \mathbf{H}}{\partial t^2} \quad (2.18)$$

Persamaan (2.17) dan (2.18) menunjukkan bahwa medan listrik \mathbf{E} dan medan magnet \mathbf{H} tidak saling terkopel satu sama lain (Lee, 1986).

Secara umum persamaan (2.17) dan (2.18) dapat ditulis dalam persamaan:

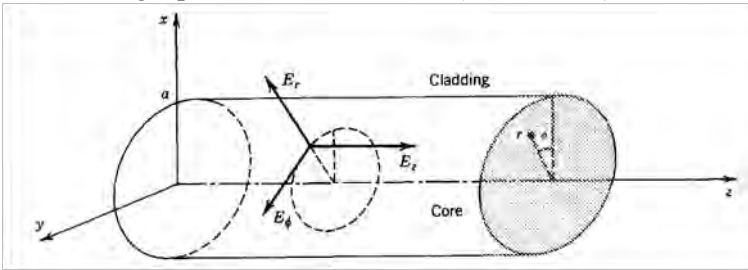
$$\nabla^2 \psi - \frac{1}{v^2} \frac{\partial^2 \psi}{\partial t^2} = 0 \quad (2.19)$$

Fungsi gelombang ψ merepresentasikan medan harmonik \mathbf{E} dan \mathbf{H} yang tidak saling terkopel. Jika $\psi = U e^{-i\omega t}$ maka dari persamaan (2.19) diperoleh:

$$\nabla^2 \mathbf{U} + \mathbf{n}^2 \left(\frac{\omega}{c} \right)^2 \mathbf{U} = 0 \quad (2.20)$$

$$\nabla^2 \mathbf{U} + \mathbf{n}^2 k_0^2 \mathbf{U} = 0 \quad (2.21)$$

dengan $k = \frac{\omega}{v}$ yang merupakan konstanta perambatan. Dari hubungan $n = \frac{c}{v}$ dan $k_0 = \frac{\omega}{c} = \frac{2\pi}{\lambda_0}$, maka $k = nk_0$ dengan indeks 0 menunjukkan medium vakum. Selanjutnya persamaan (2.21) ini disebut sebagai persamaan Helmholtz (Saleh, 2007).



Gambar 2.4 Geometri serat optik dalam koordinat silinder (Saleh, 2007)

Tiap komponen medan listrik dan medan magnet harus memenuhi persamaan Helmholtz tersebut. Dari penampang geometri serat optik berbentuk silinder seperti yang diperlihatkan pada Gambar 2.4, $n = n_1$ untuk $r < a$ (pada *core*) dan $n = n_2$ untuk $r > a$ (pada *cladding*). Dalam sistem koordinat silinder, persamaan Helmholtz berbentuk:

$$\frac{\partial^2 U}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial U}{\partial r} + \frac{1}{r^2} \frac{\partial^2 U}{\partial \phi^2} + \frac{\partial^2 U}{\partial z^2} + n^2 k_0^2 U = 0 \quad (2.22)$$

dimana amplitudo kompleks $U = U(r, \phi, z)$ merepresentasikan komponen-komponen kartesian medan listrik atau medan magnet atau komponen aksial E_z dan H_z di dalam koordinat silinder serta r , ϕ , dan z menyatakan posisi dalam koordinat silinder. Jika gelombang diasumsikan merambat ke arah z dan dinyatakan dalam bentuk:

$$U = U(r, \phi, z) = U(r) e^{-j(l\phi + \beta z)} \quad (2.23)$$

dengan β adalah konstanta perambatan dan $l = 0, \pm 1, \pm 2, \dots$, menunjukkan periodisitas ϕ , dengan periode 2π , dengan

mensubstitusi persamaan (2.23) ke dalam persamaan (2.22) didapatkan persamaan diferensial biasa untuk $u(r)$:

$$\frac{d^2 u}{dr^2} + \frac{1}{r} \frac{du}{dr} + \left(n^2 k_0^2 - \beta^2 - \frac{l^2}{r^2} \right) u = 0 \quad (2.24)$$

Syarat gelombang terpandu adalah $n_2 k_0 < \beta < n_1 k_0$ untuk itu didefinisikan parameter sebagai berikut (Saleh, 2007):

$$k_T^2 = n_1^2 k_0^2 - \beta^2 \quad (2.25.a)$$

dan

$$\gamma^2 = \beta^2 - n_2^2 k_0^2 \quad (2.25.b)$$

Untuk gelombang terpandu k_T^2 dan γ^2 bernilai positif dan k_T dan γ bernilai real. k_T menyatakan komponen transversal gelombang terpandu di dalam *core*, sedangkan γ menyatakan komponen transversal gelombang di *cladding* atau gelombang *evanescent*. Dengan demikian persamaan (2.24) dapat dipisahkan antara di *core* dan di *cladding* seperti persamaan berikut (Saleh, 2007):

$$\frac{d^2 u}{dr^2} + \frac{1}{r} \frac{du}{dr} + \left(k_T^2 - \frac{l^2}{r^2} \right) u = 0, \quad r < a \text{ (core)}, \quad (2.26.a)$$

$$\frac{d^2 u}{dr^2} + \frac{1}{r} \frac{du}{dr} - \left(\gamma^2 + \frac{l^2}{r^2} \right) u = 0, \quad r > a \text{ (cladding)}, \quad (2.26.b)$$

Persamaan (2.26) adalah persamaan diferensial yang memiliki solusi berupa fungsi Bessel. Agar fungsi tidak bernilai ∞ di $r = 0$ (*core*) atau di $r \rightarrow \infty$ (*cladding*), maka berlaku solusi terbatas berikut:

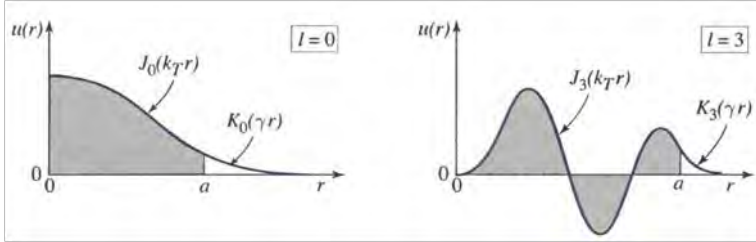
$$u(r) \propto \begin{cases} J_l(k_T r), & r < a \text{ (core)} \\ K_l(\gamma r), & r > a \text{ (cladding)} \end{cases} \quad (2.27)$$

Dimana $J_l(x)$ adalah fungsi Bessel jenis pertama dengan orde l , dan $K_l(x)$ adalah fungsi Bessel termodifikasi jenis kedua dengan orde l . Dalam batas $x \gg 1$, fungsi $J_l(x)$ berosilasi seperti fungsi sinus atau kosinus tetapi dengan amplitudo yang semakin berkurang dan $K_l(x)$ meluruh secara eksponensial dengan meningkatnya x , fungsi Bessel tersebut adalah sebagai berikut (Saleh, 2007):

$$J_l(x) \approx \left[\frac{2}{\pi x} \right]^{1/2} \cos \left[x - \left(l + \frac{1}{2} \right) \frac{\pi}{2} \right], \quad x \gg 1 \quad (2.28.a)$$

$$K_l(x) \approx \left(\frac{\pi}{2x}\right)^{1/2} \left[1 + \frac{4l^2-1}{8x}\right] e^{-x}, \quad x \gg 1 \quad (2.28.b)$$

Distribusi amplitudo medan di *core* dan *cladding* untuk $l = 0$ dan $l = 3$ diperlihatkan pada Gambar 2.5.



Gambar 2.5 Distribusi radial amplitudo medan di *core* dan *cladding* untuk orde 0 dan 3 (Saleh, 2007).

Jika persamaan (2.25.a) dan (2.25.b) dijumlahkan, diperoleh persamaan berikut:

$$k_\tau^2 + \gamma^2 = (n_1^2 - n_2^2)k_o^2 = (NA)^2 k_o^2 \quad (2.29)$$

Ruas paling kanan persamaan (2.29) bernilai konstan, sehingga jika nilai k_τ meningkat, maka nilai γ menurun, pada keadaan ini penetrasi medan ke *cladding* menjadi besar (Saleh, 2007). Jika persamaan (2.29) dikalikan dengan a^2 terdefinisi parameter serat atau parameter V yang berkaitan dengan keadaan *cut off* (disebut juga sebagai frekuensi ternormalisasi V) dengan definisi sebagai berikut (Saleh, 2007):

$$V = 2\pi \frac{a}{\lambda_0} NA \quad (2.30)$$

dengan a = jari-jari *core*, λ_0 = panjang gelombang.

Bila V serat optik $< 2,405$ maka moda yang dapat dipandu hanya satu (*singlemode*) dan bila $V \geq 2,405$ maka moda yang dapat dipandu pada serat optik lebih dari satu (*multimode*). Sedangkan jumlah moda terpandu dalam serat optik didefinisikan dengan (Saleh, 2007):

$$M \approx \frac{4}{\pi^2} V^2, \quad (V \gg 1) \quad (2.31)$$

2.4. Karakteristik *Directional Coupler* Serat Optik 3×3

Untuk memahami sifat-sifat umum *directional coupler fiber* 3×3, dimulai dari persamaan moda terkopel sebagai berikut:

$$\frac{dA}{dz} = j\beta_1 A + j\kappa_{21} B + j\kappa_{31} C, \quad (2.32.a)$$

$$\frac{dB}{dz} = j\beta_2 B + j\kappa_{32} C + j\kappa_{12} A, \quad (2.32.b)$$

$$\frac{dC}{dz} = j\beta_3 C + j\kappa_{13} A + j\kappa_{23} B, \quad (2.32.c)$$

dimana A, B, C adalah amplitudo medan optik dengan masing-masing tetapan propagasinya $\beta_1, \beta_2, \beta_3$. Sedangkan κ_{ij} adalah koefisien kopling. Dalam kasus pandu gelombang tanpa rugi daya, berlaku kekekalan energi, $AA^* + BB^* + CC^* = \text{Konstan}$, berdasarkan hubungan $\kappa_{12} = \kappa_{21}^*, \kappa_{23} = \kappa_{32}^*, \kappa_{31} = \kappa_{13}^*$. Kebanyakan *coupler* 3×3 dalam prakteknya terbuat dari 3 serat optik identik dengan indeks bias efektif n_{eff} sama. Sehingga persamaan kopling disederhanakan menjadi:

$$\frac{d}{dz} \begin{pmatrix} A \\ B \\ C \end{pmatrix} = j \begin{pmatrix} \beta & \kappa_{12}^* & \kappa_{31} \\ \kappa_{12} & \beta & \kappa_{23}^* \\ \kappa_{31}^* & \kappa_{23} & \beta \end{pmatrix} \begin{pmatrix} A \\ B \\ C \end{pmatrix}. \quad (2.33)$$

Persamaan tersebut dapat diselesaikan dengan solusi percobaan dalam bentuk $\propto \exp(j\gamma z)$ dengan konstanta propagasi gabungan γ , yang ditentukan dari persamaan nilai eigen:

$$\begin{pmatrix} \beta - \gamma & \kappa_{12}^* & \kappa_{31} \\ \kappa_{12} & \beta - \gamma & \kappa_{23}^* \\ \kappa_{31}^* & \kappa_{23} & \beta - \gamma \end{pmatrix} \begin{pmatrix} A \\ B \\ C \end{pmatrix} = 0. \quad (2.34)$$

Untuk memastikan solusi agar tidak bernilai nol maka determinannya harus sama dengan nol, menghasilkan persamaan:

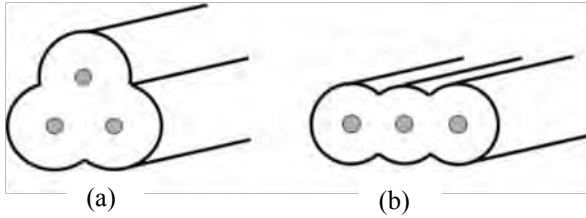
$$x^3 - 3p^2 x - 2q^3 = 0, \quad (2.35)$$

dimana $x = \gamma - \beta$, $3p^2 = |\kappa_{12}|^2 + |\kappa_{23}|^2 + |\kappa_{31}|^2$, dan $2q^3 = \kappa_{12}^* \kappa_{23}^* \kappa_{31}^* + \kappa_{12} \kappa_{23} \kappa_{31}$. Bentuk terakhir juga dapat ditulis $2q^3 = 2|\kappa_{12} \kappa_{23} \kappa_{31}| \cos(\phi_1 + \phi_2 + \phi_3)$ dengan fase ϕ_i masing-masing koefisien kopling dalam bentuk kompleks. Solusi yang diperoleh yaitu:

$$\gamma_n = \beta - 2p \cos \left[\frac{2(n-1)\pi}{3} + \frac{\theta}{3} \right] \quad (n = 1, 2, 3), \quad (2.36)$$

dengan $\theta = \cos^{-1}(-q^3/p^3)$. Karakteristik transmisi diberikan jika koefisien kopling diketahui (Fang, 2012).

Coupler 3×3 lebih rumit daripada *coupler* 2×2 karena terdapat lebih banyak parameter geometri dan parameter fisis yang mempengaruhi karakteristiknya. Pada proses fabrikasi *coupler* 3×3, terdapat 2 tipe struktur yang sering digunakan, yaitu konfigurasi segitiga dan konfigurasi planar seperti ditunjukkan secara skematis pada gambar 2.6.



Gambar 2.6. Dua tipe konfigurasi *coupler* 3×3: (a) segitiga dan (b) planar (Fang, 2012).

Untuk *coupler* 3×3 tipe konfigurasi planar, diasumsikan bahwa tidak terjadi kopling antar-kedua pandu gelombang tepi (kanan-kiri). Sekarang persamaan moda terkopel ditulis sebagai:

$$\frac{d}{dz} \begin{pmatrix} A \\ B \\ C \end{pmatrix} = j \begin{pmatrix} \beta & \kappa_{12}^* & 0 \\ \kappa_{12} & \beta & \kappa_{23}^* \\ 0 & \kappa_{23} & \beta \end{pmatrix} \begin{pmatrix} A \\ B \\ C \end{pmatrix}. \quad (2.37)$$

dengan solusi percobaan dalam bentuk $\propto \exp(jyz)$ diperoleh persamaan nilai eigen:

$$x^3 - (|\kappa_1|^2 + |\kappa_2|^2)x = 0. \quad (2.38)$$

Konstanta propagasi gabungan menjadi:

$$\begin{aligned} \gamma_1 &= \beta, \\ \gamma_{2,3} &= \beta \pm \kappa, \end{aligned} \quad (2.39)$$

dimana $\kappa = \sqrt{|\kappa_1|^2 + |\kappa_2|^2}$. Substitusi nilai eigen ke dalam persamaan (2.37), diperoleh persamaan transmisi sebagai berikut:

$$\begin{pmatrix} A \\ B \\ C \end{pmatrix} = \frac{1}{2} \begin{pmatrix} \cos \kappa z + 1 & j\sqrt{2} \sin \kappa z & \cos \kappa z - 1 \\ j\sqrt{2} \sin \kappa z & \sqrt{2} \cos \kappa z & j\sqrt{2} \sin \kappa z \\ \cos \kappa z - 1 & j\sqrt{2} \sin \kappa z & \cos \kappa z + 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} A_0 \\ B_0 \\ C_0 \end{pmatrix}. \quad (2.40)$$

Sebuah kasus khusus dimana faktor fase kopling memenuhi $\cos \kappa l = 1$, membuat persamaan transmisi menjadi matriks identitas 3×3 . Kegunaan lain dari *coupler* planar 3×3 adalah sebagai piranti yang panjang kopling l_c dan koefisien koplingnya diatur untuk memenuhi $\cos \kappa l = 0$, dan matriks transmisinya ditulis sebagai:

$$\begin{pmatrix} A \\ B \\ C \end{pmatrix} = \frac{1}{2} \begin{pmatrix} 1 & j\sqrt{2} & -1 \\ j\sqrt{2} & 0 & j\sqrt{2} \\ -1 & j\sqrt{2} & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} A_0 \\ B_0 \\ C_0 \end{pmatrix}. \quad (2.41)$$

Persamaan (2.41) tersebut menunjukkan bahwa ketika sinyal optik masukan diberikan pada port tengah *coupler*, tidak ada sinyal yang terdeteksi pada port keluaran tengah, sedangkan pada kedua port keluaran samping (kanan & kiri) diperoleh sinyal yang sama besar dan dalam satu fase (Fang, 2012).

Parameter-parameter pokok dalam piranti *directional coupler* optik antara lain:

1. *Splitting ratio* atau *Coupling ratio* (CR), yaitu proporsi daya masukan pada masing-masing keluaran. Jika daya masukan diberikan pada Port B1, nilai CR diperoleh dari saluran keluaran, yaitu Port A2, Port B2, dan Port C2 dengan menggunakan persamaan (Crisp, 2001):

$$CR = \frac{P_{A2}}{(P_{C2} + P_{B2} + P_{A2})} = \frac{P_{C2}}{(P_{C2} + P_{B2} + P_{A2})} \quad (2.27)$$

2. *Insertion loss*, (L_{ins}) atau *Port-to-port loss*, yaitu rugi sisipan yang terjadi karena daya dari saluran masukan *coupler* serat optik terdistribusi di antara saluran keluaran. *Insertion loss* diukur sebagai perbandingan daya keluaran tunggal terhadap daya masukannya.

$$L_{ins} = 10 \log \left(\frac{P_{port \text{ keluaran}}}{P_{port \text{ masukan}}} \right) \text{ dB} \quad (2.28)$$

Sebagai contoh, *Insertion loss* pada Port B2 adalah:

$$L_{ins} = 10 \log \left(\frac{P_{B2}}{P_{B1}} \right) \text{ dB} \quad (2.29)$$

Selanjutnya rumus ini menunjukkan *Insertion loss* pada Port B2 atau *port-to-port loss* antara Port B1 ke Port B2 (Crisp, 2001).

3. *Excess loss* (L_e), adalah rugi daya total. Jika 10 mW masuk ke dalam perangkat dan hanya 9 mW yang keluar, maka yang 1 mW dinyatakan sebagai rugi daya. Energi cahaya terhambur dan diserap di dalam *coupler* dan tidak didapatkan di saluran keluaran. Pada kasus *coupler* 3×3, daya keluaran merupakan penjumlahan dari Port A2, B2 dan C2 sedangkan daya masukan pada Port B1. Sehingga *Excess loss* dinyatakan sebagai:

$$L_e = 10 \log \left(\frac{\sum P_j}{P_i} \right) \text{ dB} = 10 \log \left(\frac{P_{A2} + P_{B2} + P_{C2}}{P_{B1}} \right) \text{ dB} \quad (2.30)$$

Dengan P_j adalah daya keluaran dan P_i adalah daya masukan (Crisp, 2001).

4. Direktivitas (*directivity*) atau *Crosstalk*. Ketika daya masukan diberikan pada Port B1 maka daya keluaran akan terdeteksi pada Port A2, B2 dan C2 bukan pada Port A1 dan C1 yang merupakan Port masukan lainnya. Sayangnya, oleh karena hamburan balik di dalam *coupler*, beberapa energi dipantulkan balik dan terdeteksi di Port A1 dan Port C1. Hamburan balik ini sangat sedikit dan disebut direktivitas (*Directivity*) atau *crosstalk*. Direktivitas dari *coupler* optik diukur antar port-port masukan *directional coupler* (Crisp, 2001).

$$D = C_t = 10 \log \frac{P_{A1}}{P_{B1}} \text{ dB} = 10 \log \frac{P_{C1}}{P_{B1}} \text{ dB} \quad (2.31)$$

BAB III METODOLOGI

3.1 Alat dan Bahan

Peralalatan yang digunakan dalam penelitian tugas akhir ini antara lain:

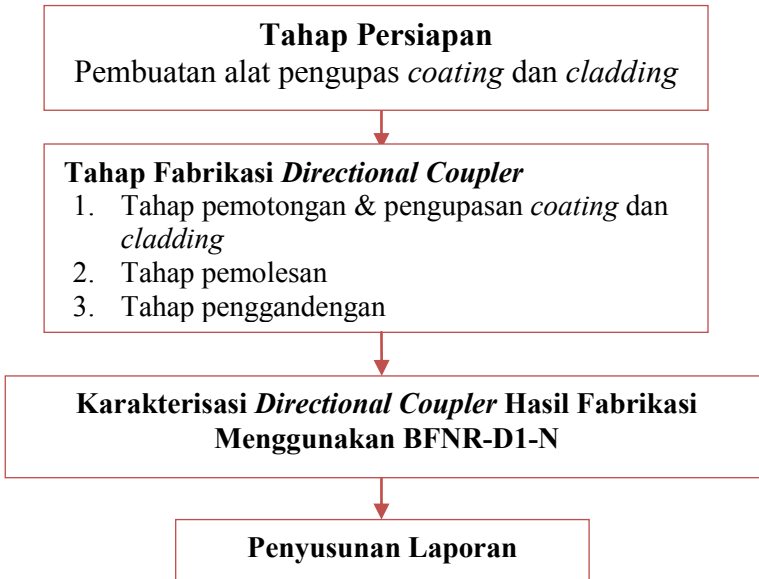
1. BF5R-D1-N
2. *DIN Rail*
3. Bor akrilik
4. Mur & Baut
5. Selotip
6. Pemotong fiber
7. Gunting dan *cutter*
8. Alat pemoles
9. Klip binder
10. *Power Supply 30 V*
11. Kabel jepit buaya
12. Penggaris
13. Jangka sorong

Bahan yang digunakan dalam penelitian tugas akhir ini antara lain:

1. Serat optik *step index* moda jamak tipe FD-620-10
2. Kaca akrilik
3. Lem epoxy/lem silikon
4. Alkohol 70%
5. Ampelas (mesh: 340, 1200, 1500, 2000)
6. Benang jahit
7. Pipa kecil (*Casing* bekas spidol)

3.2 Diagram Alir Penelitian

Tahapan penelitian ditunjukkan dengan diagram alir penelitian pada Gambar 3.1. berikut ini:

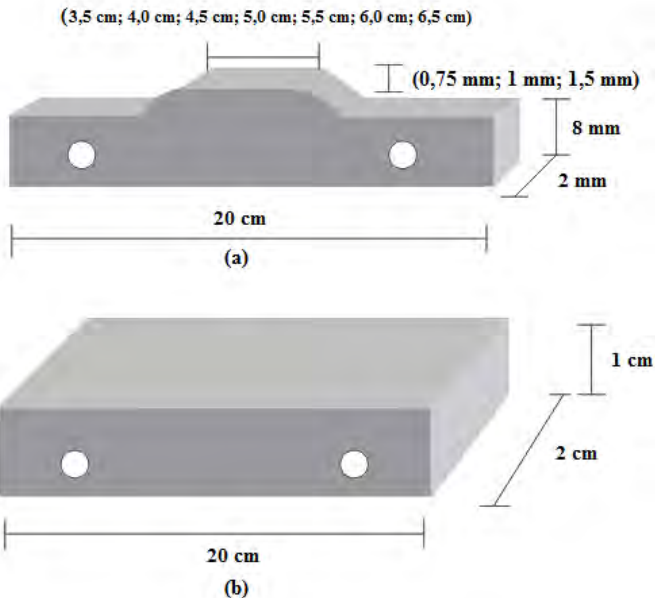


Gambar 3.1. Diagram Alir Tahapan Penelitian

3.2.1 Tahap Persiapan

3.2.1.1 Pembuatan alat pengupas *coating* dan *cladding*

Alat ini digunakan untuk memudahkan mengupas *coating* dan *cladding* pada serat optik dengan variasi panjang kupasan yaitu 35 mm, 40 mm, 45 mm, 50 mm, dan 55 mm. Bagian utama alat ini adalah akrilik dengan ketebalan 2 mm. Desain rancangan alat pengupas *coating* dan *cladding* di perlihatkan pada Gambar 3.2



Gambar 3.2. Desain rancangan alat pengupas *coating* dan *cladding*

Untuk menghasilkan *directional coupler* konfigurasi 3×3 planar dengan satu panjang kupasan, bagian (a) pada Gambar 3.2 dibuat 3 buah dengan ketinggian gundukan masing-masing 0,75 mm, 1 mm, dan 1,5 mm. Sehingga untuk 6 variasi panjang kupasan, bagian (a) pada Gambar 3.2 dibuat sebanyak 18 buah. Bagian (b) pada Gambar 3.2 adalah bagian utama alat pengupas *coating* dan *cladding*, dibuat sebanyak 2 buah. Bagian (a) dirangkai ditengah antara dua buah bagian (b) dan digabung dengan menggunakan mur dan baut melalui lubang yang dibuat. Untuk lebih jelasnya, alat pengupas *coating* dan *cladding* yang telah dibuat diperlihatkan pada Gambar 3.3.



Gambar 3.3 Alat pengupas *coating* dan *cladding*

3.2.2 Tahap fabrikasi *directional coupler*

Prosedur fabrikasi *directional coupler* mengikuti langkah-langkah sebagai berikut:

1. Tahap Pemotongan & Pengupasan *Coating* dan *Cladding*

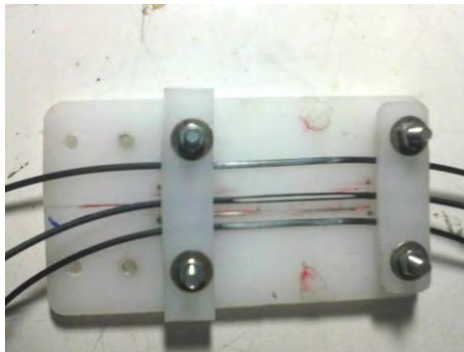
Serat optik dipotong menggunakan alat pemotong fiber dengan panjang 20 cm sebanyak 3 buah. Untuk memudahkan identifikasi, ketiga serat optik tersebut diberi label A, B, dan C. Serat optik B diletakkan ditengah dan diapit oleh serat optik A dan serat optik C.

Dengan bantuan alat pengupas yang telah dibuat, serat optik yang akan dikupas ditempatkan di tengah-tengah bagian alat tersebut dan ditempelkan selotip agar tidak geser. Selanjutnya serat optik dikupas dengan panjang kupasan 35 mm, 40 mm, 45 mm, 50 mm, dan 55 mm menggunakan *cutter* yang tajam.



Gambar 3.4 Proses pengupasan *coating* dan *cladding*

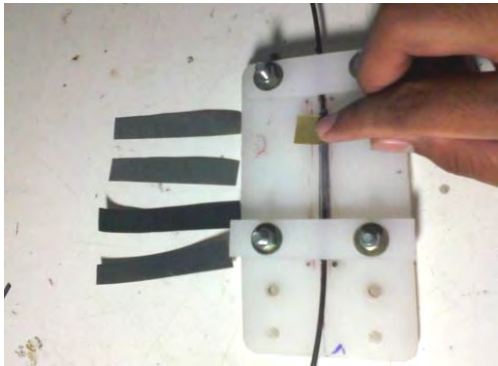
Untuk serat optik B yang akan dijadikan bagian tengah *directional coupler* konfigurasi 3×3 planar, dikupas sisi kiri dan kanannya sebesar 0,75 mm, sehingga tersisa serat optik di bagian tengah dengan ketebalan 0,5 mm. Proses pengupasan serat optik B ini dilakukan dalam dua tahap pengupasan, tahap pertama yaitu serat optik B dikupas sisi kirinya dengan menggunakan alat pengupas dengan tinggi gundukan 0,75 mm; tahap kedua yaitu sisi kiri serat B yang telah dikupas dihadapkan ke bawah alat pengupas sehingga yang terkelupas pada tahap kedua ini adalah sisi kanan serat optik B, alat pengupas yang digunakan pada tahap kedua ini menggunakan tinggi gundukan 1,5 mm. Sedangkan untuk kedua serat optik A dan serat optik C yang akan dijadikan bagian sisi kiri dan kanan *directional coupler* konfigurasi 3×3 planar, dikupas salah satu sisinya dengan tebal kupasan 1 mm ($0.5 \times \text{diameter coating}$). Proses pengupasan serat optik A dan serat optik C menggunakan alat pengupas dengan tinggi gundukan 1 mm. Untuk memastikan ketebalan hasil kupasan sesuai dengan yang diinginkan, digunakan jangka sorong untuk mengukur ketebalannya.



Gambar 3.5 Hasil kupasan serat optik

2. Tahap Pemolesan

Pada tahap ini, serat optik diletakkan pada alat pemoles dengan bagian yang terkupas menghadap ke atas. Seperti pada tahap sebelumnya, serat optik harus pada keadaan lurus dan sejajar. Kemudian dengan menggunakan ampelas serat optik digosok searah. Ampelas yang digunakan yaitu dengan mesh 400, 1200, 1500 dan 2000. Hal ini dilakukan agar seluruh serat optik yang dipoles mempunyai permukaan yang rata dan ketebalan yang sama. Kemudian ujung-ujung serat optik diratakan menggunakan ampelas dengan cara digosok membentuk angka delapan. Hal ini dilakukan agar seluruh permukaan rata. Selanjutnya di bersihkan menggunakan alkohol 70 % dan dikeringkan.

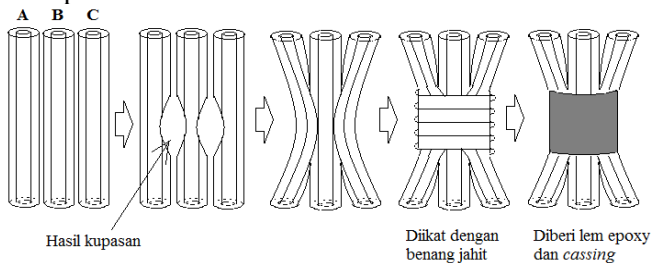


Gambar 3.6 Proses pemolesan

3. Tahap Penggandengan

Tahap ini merupakan tahapan terakhir pembuatan *directional coupler*. Penggandengan dilakukan dengan cara menggandeng ketiga serat optik pada bagian yang telah dipoles dengan mengikatnya menggunakan benang jahit, untuk memudahkan proses penggandengan digunakan klip binder untuk menjepit ketiga serat optik tersebut agar tidak geser, kemudian lilitan benang tersebut direkatkan menggunakan lem

epoxy. Pada tahap ini harus dilakukan dengan perlahan dan diusahakan ketiga bagian serat optik yang telah dipoles benar-benar *matching* agar dihasilkan penggandengan yang baik. Agar tidak mengalami pergeseran dalam penggunaanya, *directional coupler* yang dihasilkan diberi pelindung (*casing*) yang pemanen. Pada penelitian ini *directional coupler* dimasukkan ke dalam pipa kecil (selongsong bekas spidol). Tahap penggandengan dan proses penggandengan dapat dilihat pada Gambar 3.7 dan Gambar 3.8.

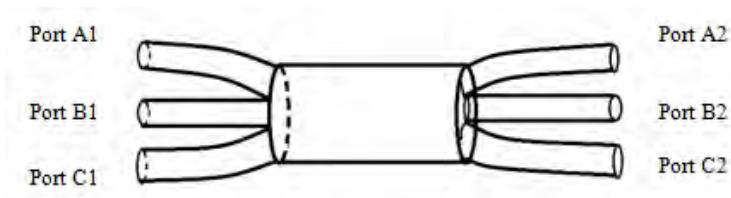


Gambar 3.7 Tahap penggandengan *directional coupler*



Gambar 3.8 Proses penggandengan *directional coupler*

Desain hasil fabrikasi *directional coupler* 3×3 diperlihatkan pada Gambar 3.9.



Gambar 3.9 Desain hasil fabrikasi *directional coupler*

3.2.3. Karakterisasi *directional coupler* hasil fabrikasi menggunakan BF5R-D1-N

Karakterisasi *directional coupler* hasil fabrikasi menggunakan BF5R-D1-N. Karakterisasi ini bertujuan untuk memperoleh nilai *coupling ratio* (CR), *crosstalk* (Ct) atau *directivity* (D), *excess loss* (Le) dan *insertion loss* (Lins). BF5R-D1-N diperlihatkan pada Gambar 3.10. Sensor ini merupakan sensor khusus untuk menganalisis daya keluaran yang diterima dari fiber optik. Pada karakterisasi ini digunakan dua buah BF5R-D1-N, yang pertama sebagai sumber cahaya dan yang kedua sebagai fotodetektor.



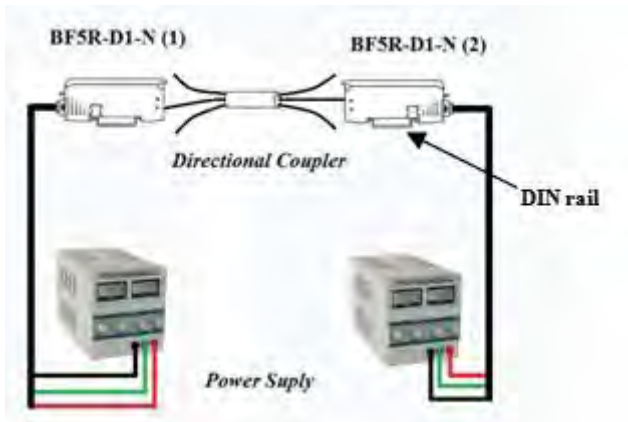
Gambar 3.10 Alat BF5R-D1-N

Spesifikasi BF5R-D1-N diperlihatkan pada Tabel 3.1

Tabel 3.1 Spesifikasi BF5R-D1-N (Selection, 2011)

Type	BF5R-D1-N
<i>Source</i>	LED Merah (660 nm)
<i>Power supply</i>	12-24 Volt DC \pm 10%
Arus maksimum	50 mA
Waktu respon	500 μ s (Standard)
<i>Output</i>	P_{in} (level light) 0-4000

Set up alat untuk karakterisasi menggunakan BF5R-D1-N ditunjukkan pada Gambar 3.11. Kedua BF5R-D1-N diletakkan di atas DIN *rail* agar bisa berdiri tegak dan sejajar antarkeduanya. Sumber tegangan DC dari *power supply* yang digunakan pada kedua BF5R-D1-N adalah sebesar 13 Volt, nilai ini berada di rentang tegangan kerja BF5R-D1-N yaitu 12-24 Volt DC. Untuk mengetahui karakteristik dari *directional coupler* yang telah di fabrikasi, dilakukan pengukuran menggunakan BF5R-D1-N pada masing- masing port keluaran sebanyak 20 kali pengulangan. Setiap 5 kali pengambilan data, BF5R-D1-N dimatikan dan dihidupkan kembali setelah \pm 1 menit, hal ini dilakukan agar data yang diperoleh lebih akurat karena BF5R-D1-N sensitif terhadap panas, jika digunakan dalam jangka waktu yang lama akan panas dan data yang ditampilkan tidak stabil dan intensitas cahaya yang terdeteksi cenderung menurun. Untuk setiap panjang kupasan, BF5R-D1-N yang digunakan sebagai sumber cahaya dipasang di Port masukan B1, A1 dan C1 secara bergantian, sementara BF5R-D1-N yang digunakan sebagai detektor dipasang di Port lainnya untuk mendeteksi cahaya yang diteruskan dan cahaya yang balik.



Gambar 3.11 *Set up* alat pada proses karakterisasi menggunakan BF5R-D1-N pada *directional coupler*



Gambar 3.12 Proses karakterisasi *directional coupler* menggunakan BF5R-D1-N

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Fabrikasi *Directional Coupler*

Fabrikasi *directional coupler* serat optik dengan konfigurasi 3×3 planar menggunakan metode *Fused Biconical Tapered* (FBT) telah dilakukan dengan cara mengupas 3 buah serat optik menggunakan alat pengupas yang telah dibuat seperti pada Gambar 3.3 dengan variasi panjang kupasan 35 mm, 40 mm, 45 mm, 50 mm, 55 mm, 60 mm dan 65 mm. Setelah ketiga serat optik dikupas, lalu bagian yang terkupas digandeng dan diikat dengan benang. Skema proses fabrikasi lebih jelasnya dapat dilihat pada Gambar 3.7.

Pada penelitian ini telah difabrikasi tujuh buah *directional coupler* konfigurasi 3×3 planar dengan variasi panjang kupasan 35 mm, 40 mm, 45 mm, 50 mm, 55 mm, 60 mm dan 65 mm. Hasil fabrikasi ditunjukkan pada Gambar 4.1



Gambar 4.1 Hasil Fabrikasi *directional coupler* Konfigurasi 3×3 Planar dengan Panjang Kupasan Berturut-turut 35 mm, 40 mm, 45 mm, 50 mm, 55 mm, 60 mm dan 65 mm.

4.2 Hasil Karakterisasi *Directional Coupler* Menggunakan BF5R-D1-N

Pada proses karakterisasi menggunakan BF5R-D1-N ini, digunakan BF5R-D1-N (1) sebagai *input* dan BF5R-D1-N (2) sebagai *output*. Sinyal input dari BF5R-D1-N diberikan pada Port B1, A1 dan C1 secara bergantian, sementara sinyal *output* pada tiap Port dikarakterisasi oleh BF5R-D1-N (2). Selama proses karakterisasi, *display* sensor BF5R-D1-N (2) menampilkan nilai intensitas cahaya yang diterima pada *output* tiap port, data nilai intensitas cahaya tersebut disajikan pada lampiran A dengan pengambilan data sebanyak 20 kali. Sedangkan nilai rata-ratanya disajikan sebagai berikut.

Tabel 4.1 Data Hasil Karakterisasi *Directional Coupler* dengan Daya *Input* pada Port B1

Panjang Kupasan (mm)	<i>Input</i> B1 (au)	<i>Output</i> (au)			Balik (au)	
		B2	A2	C2	A1	C1
35	3470.15	1508.15	484.80	446.35	269.70	195.25
40	3470.15	1300.05	492.80	487.60	204.80	185.55
45	3470.15	826.55	513.30	488.70	325.70	153.10
50	3470.15	781.80	518.25	494.45	188.55	147.05
55	3470.15	678.30	528.50	511.45	214.25	191.10
60	3470.15	520.15	470.85	526.85	161.35	157.60
65	3470.15	491.55	443.90	469.40	283.70	277.50

Tabel 4.2 Data Hasil Karakterisasi *Directional Coupler* dengan Daya *Input* pada Port A1

Panjang Kupasan (mm)	<i>Input</i> A1 (au)	<i>Output</i> (au)			Balik (au)	
		A2	B2	C2	B1	C1
35	3470.15	510.55	457.90	449.35	290.35	44.00
40	3470.15	659.85	518.60	366.80	183.00	15.00
45	3470.15	721.00	506.95	194.60	328.60	27.00
50	3470.15	737.75	455.90	333.05	163.85	16.00

55	3470.15	573.30	476.10	269.90	223.30	17.00
60	3470.15	567.65	458.90	379.60	175.95	22.00
65	3470.15	540.40	457.90	175.35	304.05	44.00

Tabel 4.3 Data Hasil Karakterisasi *Directional Coupler* dengan Daya *Input* pada Port C1

Panjang Kupasan (mm)	<i>Input</i> C1 (au)	<i>Output</i> (au)			Balik (au)	
		C2	B2	A2	B1	A1
35	3470.15	472.95	413.05	412.35	191.40	37.00
40	3470.15	531.10	511.80	94.50	151.00	16.00
45	3470.15	550.05	525.40	267.05	153.05	25.00
50	3470.15	558.15	536.40	443.50	169.70	16.00
55	3470.15	539.80	501.45	368.65	164.25	16.00
60	3470.15	528.85	483.70	406.30	176.70	23.00
65	3470.15	538.50	540.75	273.65	280.80	38.00

Nilai prosentase *output* pada *directional coupler* pada masing-masing variasi panjang kupasan diperlihatkan pada Tabel 4.4, 4.5, dan 4.6 berikut:

Tabel 4.4 Prosentase *Output Directional Coupler* Konfigurasi 3×3 Planar dengan Sinyal *Input* pada Port B1

Panjang Kupasan (mm)	<i>Output</i>			Balik		Loss (%)
	B2 (%)	A2 (%)	C2 (%)	A1(%)	C1(%)	
35	43.46	13.97	12.86	7.77	5.63	16.31
40	37.46	14.20	14.05	5.90	5.35	23.04
45	23.82	14.79	14.08	9.39	4.41	33.51
50	22.53	14.93	14.25	5.43	4.24	38.62
55	19.55	15.23	14.74	6.17	5.51	38.80
60	14.99	13.57	15.18	4.65	4.54	47.07
65	14.17	12.79	13.53	8.18	8.00	43.34

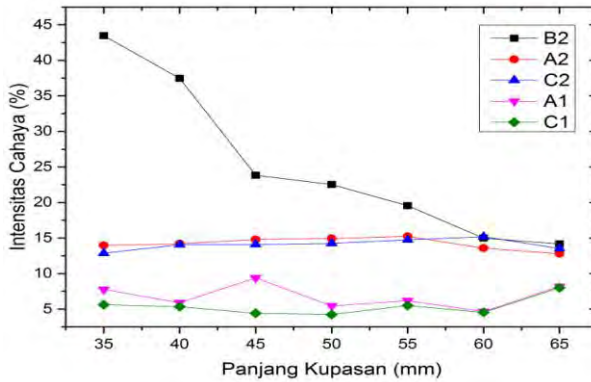
Tabel 4.5 Prosentase *Output Directional Coupler* Konfigurasi 3×3 Planar dengan Sinyal *Input* pada Port A1

Panjang Kupasan (mm)	<i>Output</i>			Balik		Loss (%)
	A2(%)	B2(%)	C2(%)	B1(%)	C1(%)	
35	14.71	13.20	12.95	8.37	1.27	49.51
40	19.02	14.94	10.57	5.27	0.43	49.76
45	20.78	14.61	5.61	9.47	0.78	48.76
50	21.26	13.14	9.60	4.72	0.46	50.82
55	16.52	13.72	7.78	6.43	0.49	55.06
60	16.36	13.22	10.94	5.07	0.63	53.77
65	15.57	13.20	5.05	8.76	1.27	56.15

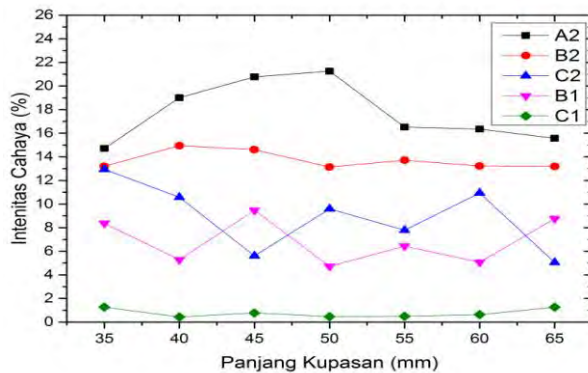
Tabel 4.6 Prosentase *Output Directional Coupler* Konfigurasi 3×3 Planar dengan Sinyal *Input* pada Port C1

Panjang Kupasan (mm)	<i>Output</i>			Balik		Loss (%)
	C2(%)	B2(%)	A2(%)	B1(%)	A1(%)	
35	13.63	11.90	11.88	5.52	1.07	56.00
40	15.30	14.75	2.72	4.35	0.46	62.41
45	15.85	15.14	7.70	4.41	0.72	56.18
50	16.08	15.46	12.78	4.89	0.46	50.33
55	15.56	14.45	10.62	4.73	0.46	54.18
60	15.24	13.94	11.71	5.09	0.66	53.36
65	15.52	15.58	7.89	8.09	1.10	51.83

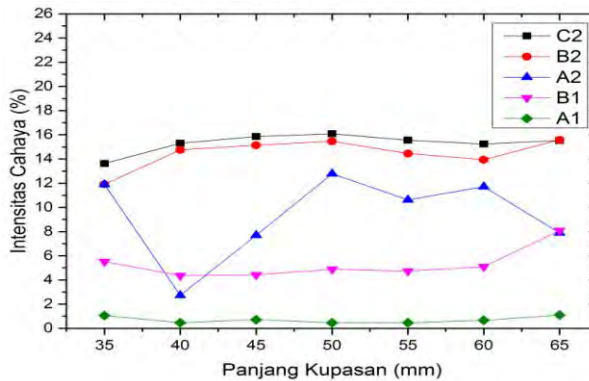
Berdasarkan data pada Tabel 4.4, 4.5 dan 4.6 diatas, data juga disajikan dalam bentuk grafik pada Gambar 4.2, 4.3 dan 4.4 berikut:



Gambar 4.2 Grafik Pengaruh Panjang Kupasan terhadap Prosentase Intensitas Cahaya Pada Tiap *Output* dengan Port B1 sebagai Sinyal *Input*



Gambar 4.3 Grafik Pengaruh Panjang Kupasan terhadap Prosentase Intensitas Cahaya Pada Tiap *Output* dengan Port A1 sebagai Sinyal *Input*



Gambar 4.4 Grafik Pengaruh Panjang Kupasan terhadap Prosentase Intensitas Cahaya Pada Tiap Output dengan Port C1 sebagai Sinyal Input

Kemudian untuk mengetahui nilai parameter *directional coupler* berdasarkan persamaan (2.27), (2.28), (2.30), dan (2.31), dilakukan perhitungan yang hasilnya ditampilkan pada Tabel 4.7, 4.8, 4.9, 4.10, 4.11, 4.12 dan 4.13 berikut ini:

Tabel 4.7 Karakteristik *Directional Coupler* dengan Panjang Kupasan 35 mm

Input	CR	Lins(dB)	Le (dB)	D (dB)
B1	0.62	-3.62	-1.53	-11.09
	0.20	-8.55		-12.50
	0.18	-8.91		
A1	0.36	-8.32	-3.89	-10.77
	0.32	-8.80		-18.97
	0.32	-8.88		
C1	0.36	-8.66	-4.27	-12.58
	0.32	-9.24		-19.72

	0.32	-9.25		
--	------	-------	--	--

Tabel 4.8 Karakteristik *Directional Coupler* dengan Panjang Kupasan 40 mm

Input	CR	Lins(dB)	Le (dB)	D (dB)
B1	0.57	-4.26	-1.82	-12.29
	0.22	-8.48		-12.72
	0.21	-8.52		
A1	0.43	-7.21	-3.51	12.78
	0.34	-8.26		23.64
	0.24	-9.76		
C1	0.47	-8.15	-4.84	13.61
	0.45	-8.31		23.36
	0.08	-15.65		

Tabel 4.9 Karakteristik *Directional Coupler* dengan Panjang Kupasan 45 mm

Input	CR	Lins(dB)	Le (dB)	D (dB)
B1	0.45	-6.23	-2.78	-10.28
	0.28	-8.30		-13.55
	0.27	-8.51		
A1	0.51	-6.82	-3.87	-10.24
	0.36	-8.35		-21.09
	0.14	-12.51		
C1	0.41	-8.00	-4.12	-13.56
	0.39	-8.20		-21.42
	0.20	-11.14		

Tabel 4.10 Karakteristik *Directional Coupler* dengan Panjang Kupasan 50 mm

Input	CR	Lins(dB)	Le (dB)	D (dB)
B1	0.44	-6.47	-2.86	-12.65
	0.29	-8.26		-13.73
	0.28	-8.46		
A1	0.48	-6.72	-3.57	-13.26
	0.30	-8.81		-23.36
	0.22	-10.18		
C1	0.36	-7.94	-3.53	-13.11
	0.35	-8.11		-23.36
	0.29	-8.93		

Tabel 4.11 Karakteristik *Directional Coupler* dengan Panjang Kupasan 55 mm

Input	CR	Lins(dB)	Le (dB)	D (dB)
B1	0.39	-7.09	-3.05	-12.09
	0.31	-8.17		-12.59
	0.30	-8.32		
A1	0.43	-7.82	-4.20	-11.91
	0.36	-8.63		-23.10
	0.20	-11.09		
C1	0.38	-8.08	-3.91	-13.25
	0.36	-8.40		-23.36
	0.26	-9.74		

Tabel 4.12 Karakteristik *Directional Coupler* dengan Panjang Kupasan 60 mm

Input	CR	Lins(dB)	Le (dB)	D (dB)
B1	0.34	-8.24	-3.59	-13.33
	0.31	-8.67		-13.43
	0.35	-8.19		
A1	0.40	-8.06	-3.96	-13.10
	0.33	-8.62		-21.96
	0.27	-9.68		
C1	0.37	-8.17	-3.88	-12.93
	0.34	-8.56		-21.79
	0.29	-9.32		

Tabel 4.13 Karakteristik *Directional Coupler* dengan Panjang Kupasan 65 mm

Input	CR	Lins(dB)	Le	D
B1	0.35	-8.49	-3.93	-10.87
	0.32	-8.93		-10.97
	0.33	-8.69		
A1	0.46	-8.06	-4.75	-10.41
	0.39	-8.86		-18.95
	0.15	-13.18		
C1	0.40	-8.09	-4.09	-10.92
	0.40	-8.07		-19.61
	0.20	-11.03		

4.3 Pembahasan

Pada proses fabrikasi *directional coupler* konfigurasi 3×3 planar, serat optik B yang diletakkan di bagian tengah *directional coupler* dikupas sisi kanan dan sisi kirinya sehingga tersisa bagian tengahnya dengan ketebalan 0.5 mm. Sedangkan serat optik A dan serat optik C yang masing-masing diletakkan di bagian tepi

directional coupler dikupas salah satu sisinya sehingga tersisa bagian sisi yang lain dengan ketebalan 0.5 mm. Walaupun ketebalan hasil kupasan serat optik B sama dengan serat optik A dan serat optik C, namun intensitas cahaya yang melewatinya berbeda. Hal itu disebabkan karena cahaya yang terpandu di dalam serat optik lebih dominan melewati sumbu serat optik dari pada melewati tepi serat optik. Kebanyakan sinar yang terpandu berdasarkan prinsip pantulan dalam total terpantul melewati sumbu serat optik, namun hanya sebagian yang melewati salah satu tepi serat optik karena sebagian yang lainnya melewati tepi serat optik yang lainnya. Sehingga intensitas cahaya yang melewati sumbu serat optik atau bagian tengah serat optik lebih banyak dari pada yang melewati bagian tepi. Terbukti bahwa intensitas cahaya yang melewati serat optik B cenderung lebih banyak dari pada yang melewati serat optik A dan serat optik C, seperti yang ditunjukkan data yang telah di peroleh pada Tabel 4.1, Tabel 4.2 dan Tabel 4.3. Namun jika kita perhatikan lebih cermat data pada Tabel 4.1, Tabel 4.2 dan Tabel 4.3 tersebut, pada panjang kupasan 60 mm dan 65 mm, intensitas cahaya yang melewati serat optik A dan serat optik C lebih besar dari pada yang melewati serat optik B. Hal itu disebabkan karena faktor fabrikasi yang kurang sempurna, ketebalan serat optik B pada panjang kupasan 60 mm dan 65 mm ini lebih kecil dari pada panjang kupasan yang lainnya. Faktor ketebalan serat optik yang dikupas sangat berpengaruh pada intensitas cahaya yang melewatinya. Semakin tipis serat optik yang dikupas maka semakin sedikit pula intensitas cahaya yang dapat melewatinya.

Serat optik dikupas *coating* dan *cladding*-nya sehingga tersisa *core*, bagian *core* yang terkupas ini digabung dengan *core* serat optik lainnya, sehingga tidak ada *gap* atau celah antar-*core*. Pada daerah kupasan yang digabung ini terjadi kebocoran

gelombang, yaitu moda orde tinggi pada serat optik yang satu berpindah ke serat optik yang lainnya sedangkan moda orde rendah tetap terpandu pada serat optik awal. Proses perpindahan daya gelombang optik ini sesuai dengan teori moda terkopel. Kebocoran gelombang semakin besar apabila melewati daerah *bending*, sehingga daya gelombang optik yang dipindahkan ke serat optik lainnya lebih besar. Pada fabrikasi *directional coupler* konfigurasi 3×3 planar ini terdapat *bending* di ujung-ujung daerah kupasan pada serat optik A dan serat optik C saat digabung dengan serat optik B. Sehingga kebocoran gelombang yang dialami serat optik A dan serat optik C lebih besar dari pada kebocoran gelombang yang dialami serat optik B. Oleh karena itu daya gelombang optik yang dipindahkan dari serat optik A dan serat optik C lebih besar dari pada serat optik B. Hal ini dapat ditunjukkan pada Tabel 4.1, Tabel 4.2 dan Tabel 4.3 atau Tabel 4.4, Tabel 4.5 dan Tabel 4.6, dimana intensitas cahaya yang dipindahkan dari *input* Port C1 ke Port B2 lebih besar dari pada intensitas cahaya yang dipindahkan dari *input* Port B1 ke A2.

Kebocoran gelombang juga bertambah besar seiring dengan bertambahnya panjang kupasan sehingga rugi daya semakin besar pada saat panjang kupasan semakin besar. Oleh karena itu intensitas cahaya yang ditransmisikan ke dalam serat optik akan semakin kecil jika panjang kupasan semakin besar. Seperti yang ditunjukkan pada Tabel 4.1 dan Tabel 4.4, intensitas cahaya dari *input* Port B1 yang melewati Port B2 semakin kecil dengan bertambahnya panjang kupasan. Serta rugi daya yang dialami juga tambah besar. Perlu diperhatikan juga ternyata kebocoran gelombang dari serat optik B yang semakin besar cenderung meningkatkan intensitas cahaya yang melalui serat optik disekelilingnya yaitu serat optik A dan serat optik C yang dibuktikan oleh meningkatnya intensitas cahaya pada keluaran

Port A2 dan Port C2. Hal yang sama juga ditunjukkan pada Tabel 4.2 dan Tabel 4.5, bahwa intensitas cahaya dari *input* Port A1 yang melewati Port A2 cenderung semakin kecil dengan bertambahnya panjang kupasan. Grafik B2 pada Gambar 4.2 dan grafik A2 pada Gambar 4.3 menunjukkan kemiringan dengan gradien negatif yang berarti intensitas cahaya cenderung menurun dengan bertambahnya panjang kupasan.

Hasil fabrikasi *directional coupler* konfigurasi 3×3 planar ini memiliki *loss*/rugi daya yang besar, hal ini dikarenakan bagian *core* juga ikut terkupas. Proses pengupasan *coating* dan *cladding* menghasilkan *core* dengan ketebalan 0.5 mm, padahal diameter *core* adalah 0.98 mm sehingga *core* hasil kupasan tidak lagi berbentuk silinder utuh, melainkan silinder pipih yang menyerupai balok. Proses inilah yang menyebabkan rugi daya yang dialami serat optik cukup besar.

Berdasarkan pada Tabel 4.1 dan Tabel 4.4, intensitas cahaya pada keluaran Port A2 dan Port C2 tidak sama akan tetapi selisih keduanya kecil. Begitu juga pada Tabel 4.2, Tabel 4.3, Tabel 4.5, dan Tabel 4.6, intensitas cahaya dari *input* Port A1 yang melewati Port A2 tidak sama dengan intensitas cahaya dari *input* Port C1 yang melewati Port C2. Perbedaan nilai intensitas cahaya ini menyebabkan nilai parameter-parameter *directional coupler* seperti CR (*Coupling Ratio*), L_e (*excess loss*), L_{ins} (*insertion loss*), dan D (*directivity*) juga berbeda. Perbedaan nilai-nilai tersebut salah satunya disebabkan oleh ketidaksimetrisan sepanjang daerah kupasan dan daerah ujung pengupasan antara ketiga serat optik pada saat proses pengupasan dan penggandengan. Ketidaksimetrisan terjadi akibat struktur permukaan serat optik hasil pengupasan yang tidak rata dan ketebalan kupasan yang berbeda serta panjang kupasan yang tidak sama (dalam orde mikro) untuk tiap serat optik yang digandeng.

Hal ini dikarenakan daerah kerja pada serat optik dalam orde nano (panjang gelombang), sedangkan fabrikasi yang dilakukan secara konvensional dengan pengukuran menggunakan orde mili.

Berdasarkan prosentase *output directional coupler* yang ditampilkan pada Tabel 4.4, Tabel 4.5 dan Tabel 4.6, serta secara eksplisit dapat dilihat dengan jelas pada grafik yang ditunjukkan pada Gambar 4.2, Gambar 4.3 dan Gambar 4.4, bahwasanya nilai intensitas cahaya terbagi rata di ketiga keluaran serat optik yaitu Port A2, Port B2 dan Port C2 pada panjang kupasan 60 mm dan 65 mm dengan *input* pada Port B1 serta pada panjang kupasan 35 mm dengan *input* pada Port A1 dan Port C1. Karakteristik *directional coupler* dengan panjang kupasan 60 mm dan *input* pada Port B1 menunjukkan bahwa nilai CR = 0.34 : 0.31 : 0.35 dan Le = -3.59 dB, sementara pada panjang kupasan 65 mm dan *input* pada Port B1 menunjukkan bahwa nilai CR = 0.35 : 0.32 : 0.33 dan Le = -3.93 dB. Sedangkan karakteristik *directional coupler* dengan panjang kupasan 35 mm dengan *input* pada Port A1 menunjukkan bahwa nilai CR = 0.36 : 0.32 : 0.32 dan Le = -3.89 dB, sementara pada panjang kupasan 35 mm dengan *input* pada Port C1 menunjukkan bahwa nilai CR = 0.36 : 0.32 : 0.32 dan Le = -4.27 dB. Ketiga panjang kupasan ini sangat baik digunakan sebagai piranti pemecah berkas (*beam splitter*) maupun sebagai pembagi daya (*power divider*). Dari hasil karakterisasi menggunakan BF5R-D1-N, dapat disimpulkan bahwa *directional coupler* konfigurasi 3×3 planar dengan panjang kupasan 60 mm paling baik digunakan sebagai pembagi daya maupun pemecah berkas sehingga selanjutnya dapat digunakan sebagai piranti dalam sensor.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Dari penelitian yang telah dilakukan dapat disimpulkan:

1. Hasil fabrikasi *directional coupler* konfigurasi 3×3 planar dari serat optik mode jamak dengan pendekatan metode *Fused Biconical Taperred* (FBT) dengan variasi panjang kupasan menunjukkan bahwa semakin besar panjang kupasan maka semakin besar rugi daya dan semakin kecil intensitas cahaya yang diteruskan.
2. Hasil karakterisasi *directional coupler* konfigurasi 3×3 planar menggunakan BF5R-D1-N didapatkan bahwa *directional coupler* hasil fabrikasi dengan panjang kupasan 60 mm dan *input* pada Port B1 memiliki nilai $CR = 0.34 : 0.31 : 0.35$; $Le = -3.59$ dB; $Lins = -8.24$ dB, -8.67 dB, -8.19 dB; dan $D = -13.33$ dB, -13.43 dB. Piranti ini paling baik digunakan sebagai pembagi daya maupun pemecah berkas sehingga selanjutnya dapat digunakan sebagai piranti dalam sensor.

5.2 Saran

Dari hasil penulisan tugas akhir ini disarankan:

1. Pembuatan alat pengupas *coating* dan *cladding* menggunakan bahan kaca dan dibuat pengunci serat optik agar tidak bergeser dan dihasilkan ketebalan kupasan yang konstan serta didapatkan hasil yang lebih baik.
2. Pada *directional coupler* konfigurasi 3×3 planar dibuat lebih banyak variasi panjang kupasan pada rentang >60 mm dengan selisih yang lebih kecil (misal: 3 mm) untuk mengetahui pada panjang kupasan berapa daya terbagi rata.
3. Untuk penelitian selanjutnya pada *directional coupler* konfigurasi 3×3 planar dibuat variasi ketebalan kupasan dan letak kupasan serat optik bagian tengah diberi jarak

antar-kupasan sisi kiri dan sisi kanan sehingga terdapat 2 daerah penggandengan yang terpisah dengan jarak x . Serta setiap proses fabrikasi difoto dan diukur panjang kupasan dan tebal kupasan melalui pixel pada foto tersebut.

DAFTAR PUSTAKA

- Ab-Rahman, M.S., Supian, L.S., and Arsad, N.2014."Etching Technique Study for POF Coupler Fabrication Using Circular Blocks".**Optik**, 125:893-896.
- Agrawal, Govind P.2002.**Fiber Optic Communication Systems 3th Edition**. New York: John-Wiley & Sons, Inc.
- Breguet J, Gisin N.1995."Interferometer Using a 3x3 Coupler and Faraday Mirrors".**Optics Letters**, Vol. 20, pp. 1447-1449.
- Crisp, J.2001.**Introduction to Fiber Optics 2nd Edition**.Oxford: Jordan Hill.
- Fang, Zujie, et.all.2012.**Fundamentals of Optical Fiber Sensors**. New York: John Wiley & Sons.
- Guide, Selection.2011.**Catalog Sensor PT.Autonics**. Jakarta: MuliaTeknik Indonesia.
- Hariyanto,E.2011.**Aplikasi Directional Coupler Serat Optik Mode Jamak Sebagai Sensor Getaran Berbasis Modulasi Intensitas**. Thesis, Fisika-Fmipa,Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.
- Hoss, R.1993.**Fiber Optics 2nd Edition**. New Jersey: Prentice-Hall.
- Keiser, Gerd.1991.**Optical Fiber Communications 2nd Edition**. New York: McGraw-Hill.
- Krohn, D.A.2000.**Fiber Optic Sensors: Fundamentals and Applications 3rd**.Pennsylvania State University: Isa.
- Lee, D.L.1986.**Electromagnetic Principle of Integrated Optics**. New York: John Wiley & Sons, Inc.
- Megawati, R.F.2013."Aplikasi Double Coupler Serat Optik Multimode sebagai Sensor Kemolaran Larutan NaCl". **Jurnal Sains dan Seni POMITS**, Vol. 2, No.1, pp. 2337-3520.
- Mubasiroh, Anwaril.2013.**Aplikasi Directional Coupler Dan Double Coupler Sebagai Sensor Pergeseran**

- Berdimensi Mikro.** Tugas Akhir, Fisika-Fmipa, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.
- Powers, John.1997.**An Introduction To Fiber Optic Systems 2nd edition.** New York: McGraw-Hill.
- Pramono, Yono Hadi, dkk.2008."Aplikasi Directional Coupler Serat Optik sebagai Sensor Pergeseran". **Jurnal Fisika dan Aplikasinya**, Vol.4 No.2 Surabaya.
- Rahayu, Lucky Putri.2013.**Fabrikasi Dan Karakterisasi Directional Coupler Dan Double Coupler pada Bahan Serat Optik Plastik Step Index Multimode Tipe Fd-620-10.**Tugas Akhir, Fisika-Fmipa, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.
- Saifudin, Indra.2010.**Perancangan Directional Coupler "Variable" Menggunakan Dua Jenis Serat Optik Multimode.**Skripsi, Departemen Fisika, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Airlangga.
- Saleh, B.E.A., and Teich, M.C.2007.**Fundamentals of Photonics.** New York: John Wiley & Sons, Inc.
- Samian, dkk.2008."Fabrikasi Directional Coupler Serat Optik Multimode". **Jurnal Fisika dan Aplikasinya**, Vol.4 No.2 Surabaya.
- Sheem, S.K.1981."Optical Fiber Interferometers With [3x3] Directional-Couplers-Analysis".**Journal of Applied Physics**, Vol 52, pp. 3865-3872.
- Sun L, Ye P.1989."General-Analysis of [3x3] Optical-Fiber Directional Couplers".**Microwave and Optical Technology Letters**, Vol.2, pp. 52-54.
- Supadi, dkk.2006."Fabrikasi dan Karakterisasi Directional Coupler Sebagai Devais Pembagi Daya".**Jurnal Fisika dan Aplikasinya**, Vol.2 No.1 Surabaya.
- Widodo.1995.**Optoelektronika.**Yogyakarta: Penerbit Andi.

LAMPIRAN A
Data Hasil Karakterisasi *Directional Coupler*
Konfigurasi 3×3 Menggunakan BF5R-D1-N

A. Daya Input

No.	Daya Input (au)
1	3482
2	3473
3	3469
4	3475
5	3473
6	3476
7	3468
8	3471
9	3476
10	3486
11	3470
12	3478
13	3468
14	3452
15	3472
16	3458
17	3468
18	3464
19	3472
20	3452
Rata-	3470.15

rata	
------	--

B. Pada *Directional Coupler* dengan Panjang Kupasan 35 mm

Input B1					
No.	Output (au)			Balik (au)	
	B2	A2	C2	A1	C1
1	1527	489	448	271	201
2	1532	491	450	274	197
3	1519	485	451	273	196
4	1511	486	456	270	198
5	1509	492	460	273	199
6	1513	496	451	268	195
7	1504	490	449	269	198
8	1537	492	456	270	197
9	1519	485	453	268	196
10	1510	476	446	271	198
11	1512	489	447	266	194
12	1496	484	432	269	193
13	1474	497	438	270	197
14	1509	483	441	271	194
15	1508	491	436	267	191
16	1505	470	451	273	194
17	1512	476	441	271	191
18	1501	473	436	266	192
19	1493	482	440	271	191
20	1472	469	445	263	193
Rata-rata	1508.15	484.8	446.35	269.7	195.25
Input A1					

No.	Output (au)			Balik (au)	
	A2	B2	C2	B1	C1
1	513	458	470	296	44
2	514	457	452	301	44
3	526	466	452	298	44
4	510	470	446	297	44
5	508	457	460	294	44
6	511	471	453	296	44
7	507	459	446	293	44
8	508	464	458	291	44
9	506	476	462	292	44
10	496	453	452	284	44
11	514	457	450	282	44
12	516	458	452	292	44
13	517	462	448	284	44
14	511	448	446	286	44
15	523	457	449	291	44
16	519	447	447	286	44
17	512	448	440	283	44
18	503	447	438	285	44
19	504	450	435	291	44
20	493	453	431	285	44
Rata-rata	510.55	457.9	449.35	290.35	44
Input C1					
No.	Output (au)			Balik (au)	
	C2	B2	A2	B1	A1
1	494	426	413	201	37
2	472	414	407	196	37

3	486	417	412	194	37
4	488	419	411	189	37
5	478	414	409	191	37
6	476	410	402	194	37
7	481	412	411	195	37
8	470	406	412	194	37
9	472	413	413	192	37
10	473	411	423	191	37
11	471	418	419	186	37
12	473	412	418	189	37
13	464	413	413	190	37
14	467	420	411	189	37
15	463	412	408	188	37
16	461	414	409	189	37
17	474	413	412	187	37
18	466	414	413	191	37
19	467	402	416	192	37
20	463	401	415	190	37
Rata-rata	472.95	413.05	412.35	191.4	37

C. Pada *Directional Coupler* dengan Panjang Kupasan 40 mm

Input B1					
No.	Output (au)			Balik (au)	
	B2	A2	C2	A1	C1
1	1358	487	510	206	140
2	1346	485	517	217	138
3	1343	503	509	214	139
4	1325	483	515	206	126

5	1337	515	497	204	136
6	1340	512	496	209	135
7	1356	517	493	207	139
8	1346	510	496	205	137
9	1312	485	491	204	138
10	1316	492	484	202	140
11	1324	485	483	209	1137
12	1281	481	486	205	135
13	1289	493	473	203	136
14	1268	482	476	199	140
15	1247	480	463	200	136
16	1241	487	470	205	133
17	1256	498	475	206	131
18	1236	496	480	197	132
19	1252	483	472	201	130
20	1228	482	466	197	133
Rata-rata	1300.05	492.8	487.6	204.8	185.55
Input A1					
No.	Output (au)			Balik (au)	
	A2	B2	C2	B1	C1
1	715	521	362	189	15
2	698	518	370	187	15
3	662	520	369	186	15
4	644	515	372	188	15
5	673	512	367	186	15
6	648	516	359	184	15
7	657	523	353	185	15
8	640	520	356	189	15

9	643	512	361	186	15
10	641	508	359	179	15
11	638	522	352	183	15
12	625	519	349	182	15
13	658	520	351	176	15
14	684	519	397	181	15
15	676	522	391	177	15
16	658	516	387	182	15
17	650	523	384	178	15
18	646	526	374	180	15
19	682	518	373	176	15
20	659	522	350	186	15
Rata-rata	659.85	518.6	366.8	183	15
Input C1					
No.	Output (au)			Balik (au)	
	C2	B2	A2	B1	A1
1	535	504	92	154	16
2	520	506	90	157	16
3	527	503	101	154	16
4	525	505	102	152	16
5	528	520	100	155	16
6	522	518	97	153	16
7	552	517	95	151	16
8	539	501	95	152	16
9	532	530	96	148	16
10	521	525	93	153	16
11	527	515	92	154	16
12	546	512	90	153	16

13	526	508	93	152	16
14	536	512	94	151	16
15	529	509	93	145	16
16	520	510	96	146	16
17	519	508	94	147	16
18	538	513	93	149	16
19	552	508	94	150	16
20	528	512	90	144	16
Rata-rata	531.1	511.8	94.5	151	16

D. Pada *Directional Coupler* dengan Panjang Kupasan 45 mm

Input B1					
No.	Output (au)			Balik (au)	
	B2	A2	C2	A1	C1
1	878	511	496	345	163
2	876	517	492	341	164
3	874	501	491	352	155
4	836	502	484	355	160
5	812	503	495	342	155
6	832	519	487	339	154
7	821	505	489	332	153
8	848	502	495	324	153
9	811	513	483	326	151
10	828	515	491	323	154
11	820	525	485	325	150
12	800	509	484	312	151

13	811	519	489	320	150
14	805	503	491	311	147
15	804	507	482	309	151
16	801	513	485	310	149
17	810	528	493	310	151
18	805	517	485	315	150
19	828	526	496	312	150
20	831	531	481	311	151
Rata-rata	826.55	513.3	488.7	325.7	153.1
Input A1					
No.	Output (au)			Balik (au)	
	A2	B2	C2	B1	C1
1	732	520	201	334	27
2	726	511	203	332	27
3	719	510	200	331	27
4	712	509	203	329	27
5	703	493	198	328	27
6	703	509	192	336	27
7	748	515	197	328	27
8	741	500	194	338	27
9	725	485	190	330	27
10	742	483	194	326	27
11	745	505	193	335	27
12	728	545	192	323	27
13	725	526	195	327	27
14	726	530	192	321	27
15	708	512	191	331	27
16	705	495	189	316	27

17	707	491	192	329	27
18	712	494	193	325	27
19	711	509	192	323	27
20	702	497	191	330	27
Rata-rata	721	506.95	194.6	328.6	27
Input C1					
No.	Output (au)			Balik (au)	
	C2	B2	A2	B1	A1
1	548	512	292	161	25
2	541	517	270	159	25
3	558	522	268	151	25
4	547	515	272	156	25
5	539	531	271	152	25
6	537	533	278	154	25
7	543	518	270	153	25
8	550	514	263	151	25
9	556	526	259	153	25
10	545	537	265	148	25
11	546	538	257	151	25
12	577	536	275	150	25
13	573	525	268	148	25
14	560	520	262	153	25
15	556	513	263	154	25
16	551	522	259	151	25
17	546	526	261	158	25
18	538	528	264	155	25
19	538	529	261	152	25
20	552	546	263	151	25

Rata-rata	550.05	525.4	267.05	153.05	25
-----------	--------	-------	--------	--------	----

E. Pada *Directional Coupler* dengan Panjang Kupasan 50 mm

Input B1					
No.	Output (au)			Balik (au)	
	B2	A2	C2	A1	C1
1	788	512	502	184	147
2	799	522	489	198	158
3	758	514	492	203	157
4	784	518	482	194	153
5	799	516	472	186	154
6	830	511	503	193	146
7	824	508	489	189	152
8	793	514	505	187	148
9	828	523	494	190	151
10	814	538	492	191	148
11	803	536	509	186	136
12	792	517	497	190	144
13	762	521	495	189	142
14	753	528	492	182	147
15	742	525	478	184	140
16	748	514	513	187	141
17	744	526	497	185	143
18	746	513	506	183	142
19	759	506	493	186	147
20	770	503	489	184	145
Rata-rata	781.8	518.25	494.45	188.55	147.05

Input A1					
No.	Output (au)			Balik (au)	
	A2	B2	C2	B1	C1
1	735	477	343	160	16
2	797	461	335	162	16
3	790	457	339	163	16
4	792	472	336	165	16
5	756	451	338	163	16
6	763	464	336	167	16
7	740	469	334	164	16
8	758	457	336	163	16
9	726	458	340	167	16
10	730	447	342	165	16
11	739	455	332	164	16
12	728	452	334	165	16
13	713	450	327	170	16
14	714	448	325	166	16
15	720	443	328	163	16
16	708	446	325	162	16
17	715	451	331	165	16
18	710	448	329	161	16
19	718	460	319	158	16
20	703	452	332	164	16
Rata-rata	737.75	455.9	333.05	163.85	16
Input C1					
No.	Output (au)			Balik (au)	
	C2	B2	A2	B1	A1
1	551	554	456	179	16

2	562	546	446	173	16
3	554	529	455	176	16
4	558	527	451	174	16
5	556	530	472	167	16
6	582	527	439	168	16
7	554	528	437	177	16
8	556	524	446	175	16
9	560	523	437	174	16
10	552	553	427	171	16
11	569	548	430	176	16
12	559	550	448	175	16
13	555	535	433	165	16
14	552	536	429	163	16
15	550	526	442	164	16
16	551	542	448	167	16
17	549	544	445	164	16
18	583	535	451	163	16
19	557	542	438	162	16
20	553	529	440	161	16
Rata-rata	558.15	536.4	443.5	169.7	16

F. Pada *Directional Coupler* dengan Panjang Kupasan 55 mm

Input B1					
No.	Output (au)			Balik (au)	
	B2	A2	C2	A1	C1
1	682	529	546	222	190
2	678	511	530	217	201
3	677	531	525	220	195

4	685	530	519	221	191
5	681	532	524	212	190
6	676	552	524	223	187
7	674	544	515	212	184
8	680	546	503	215	189
9	656	543	501	223	187
10	676	528	497	212	172
11	678	529	518	207	198
12	682	528	514	206	191
13	679	526	507	212	186
14	677	511	502	207	188
15	663	524	504	211	194
16	692	529	516	222	198
17	675	532	503	218	194
18	696	526	496	211	196
19	688	511	504	212	194
20	671	508	481	202	197
Rata-rata	678.3	528.5	511.45	214.25	191.1
Input A1					
No.	Output (au)			Balik (au)	
	A2	B2	C2	B1	C1
1	588	496	264	236	17
2	586	489	283	224	17
3	570	472	270	223	17
4	567	469	272	221	17
5	570	470	261	219	17
6	562	488	283	237	17
7	570	476	270	232	17

8	593	467	261	227	17
9	571	465	258	226	17
10	560	462	263	215	17
11	577	476	280	220	17
12	564	485	269	217	17
13	558	469	267	216	17
14	563	474	272	220	17
15	572	457	261	213	17
16	586	495	282	232	17
17	574	482	274	224	17
18	585	483	273	220	17
19	574	478	265	223	17
20	576	469	270	221	17
Rata-rata	573.3	476.1	269.9	223.3	17
Input C1					
No.	Output (au)			Balik (au)	
	C2	B2	A2	B1	A1
1	539	496	389	173	16
2	537	506	381	175	16
3	529	502	365	179	16
4	530	491	370	183	16
5	526	490	357	159	16
6	532	532	387	170	16
7	536	528	375	163	16
8	526	506	372	161	16
9	520	492	378	160	16
10	523	501	383	159	16
11	542	516	376	169	16

12	546	503	370	161	16
13	544	506	360	159	16
14	541	496	359	159	16
15	533	483	364	159	16
16	564	512	357	161	16
17	557	499	365	160	16
18	559	496	354	157	16
19	555	483	359	158	16
20	557	491	352	160	16
Rata-rata	539.8	501.45	368.65	164.25	16

G. Pada *Directional Coupler* dengan Panjang Kupasan 60 mm

Input B1					
No.	Output (au)			Balik (au)	
	B2	A2	C2	A1	C1
1	536	470	520	222	160
2	521	461	516	164	159
3	522	448	513	158	160
4	518	464	506	160	159
5	526	469	510	158	157
6	528	477	536	161	158
7	527	476	526	157	161
8	523	478	531	160	164
9	515	482	524	153	161
10	510	467	509	156	157
11	529	486	538	161	156

12	511	483	546	158	154
13	528	479	537	158	157
14	513	468	523	156	156
15	526	477	542	153	153
16	524	473	546	159	156
17	508	478	541	161	159
18	507	468	532	157	152
19	519	462	524	158	157
20	512	451	517	157	156
Rata-rata	520.15	470.85	526.85	161.35	157.6
Input A1					
No.	Output (au)			Balik (au)	
	A2	B2	C2	B1	C1
1	589	496	369	178	22
2	584	458	370	179	22
3	573	459	371	181	22
4	584	459	365	175	22
5	576	447	368	178	22
6	569	459	364	180	22
7	570	452	367	181	22
8	559	461	361	180	22
9	583	459	366	177	22
10	579	454	358	174	22
11	574	448	412	179	22
12	584	450	408	180	22
13	562	449	404	176	22
14	556	451	396	174	22
15	556	453	394	175	22

16	557	454	392	174	22
17	558	461	385	170	22
18	543	448	384	168	22
19	557	486	386	171	22
20	540	474	372	169	22
Rata-rata	567.65	458.9	379.6	175.95	22
Input C1					
No.	Output (au)			Balik (au)	
	C2	B2	A2	B1	A1
1	536	484	422	179	23
2	530	473	411	178	23
3	542	487	407	179	23
4	540	481	403	183	23
5	526	477	415	181	23
6	530	469	408	179	23
7	522	485	407	178	23
8	520	478	402	179	23
9	513	481	401	175	23
10	520	480	416	176	23
11	545	512	410	174	23
12	530	495	409	179	23
13	532	493	400	174	23
14	527	485	398	179	23
15	521	487	397	176	23
16	535	489	406	174	23
17	518	483	411	176	23
18	531	476	399	173	23
19	530	474	403	168	23

20	529	485	401	174	23
Rata-rata	528.85	483.7	406.3	176.7	23

H. Pada *Directional Coupler* dengan Panjang Kupasan 65 mm

Input B1					
No.	Output (au)			Balik (au)	
	B2	A2	C2	A1	C1
1	491	436	477	289	283
2	497	453	463	292	282
3	502	445	467	288	289
4	487	450	476	285	278
5	493	443	466	282	277
6	492	435	476	288	282
7	497	450	478	287	286
8	501	447	470	291	278
9	487	439	473	292	280
10	489	441	470	283	273
11	485	446	489	276	270
12	483	456	473	280	273
13	494	444	471	274	271
14	486	440	462	287	278
15	490	443	459	282	276
16	485	446	462	285	277
17	490	443	468	283	276
18	493	446	462	279	266
19	500	437	464	277	273
20	489	438	462	274	282
Rata-	491.55	443.9	469.4	283.7	277.5

rata					
Input A1					
No.	Output (au)			Balik (au)	
	A2	B2	C2	B1	C1
1	552	458	175	303	44
2	546	463	184	296	44
3	534	449	179	298	44
4	546	447	176	305	44
5	580	453	178	303	44
6	557	463	177	302	44
7	552	460	176	296	44
8	528	445	177	299	44
9	530	486	176	304	44
10	536	469	179	298	44
11	522	458	178	296	44
12	541	470	173	300	44
13	537	461	171	298	44
14	525	465	180	293	44
15	541	455	178	294	44
16	531	459	169	330	44
17	533	454	172	327	44
18	530	448	173	315	44
19	547	446	170	310	44
20	540	449	166	314	44
Rata-rata	540.4	457.9	175.35	304.05	44
Input C1					
No.	Output (au)			Balik (au)	
	C2	B2	A2	B1	A1

1	536	546	282	299	38
2	538	544	276	292	38
3	536	553	286	293	38
4	535	548	270	291	38
5	527	542	278	294	38
6	523	551	268	287	38
7	528	526	270	286	38
8	526	537	267	281	38
9	511	534	269	276	38
10	510	529	271	280	38
11	576	553	279	273	38
12	556	546	272	277	38
13	552	543	278	281	38
14	546	540	276	279	38
15	557	532	274	272	38
16	548	547	279	275	38
17	544	552	273	268	38
18	540	543	266	270	38
19	538	528	265	273	38
20	543	521	274	269	38
Rata-rata	538.5	540.75	273.65	280.8	38

LAMPIRAN B

Data Sheet BF5R-D1-N

Autonics

Digital Fiber Optic Sensor

BF5 SERIES(Dual Display)

M A N U A L

CE



Thank you very much for selecting Autonics products.
For your safety, please read the following before using.

■ Caution for your safety

※ Please keep these instructions and review them before using this unit.

※ Please observe the cautions that follow;

⚠ Warning Serious injury may result if instructions are not followed.

⚠ Caution Product may be damaged, or injury may result if instructions are not followed.

※ The following is an explanation of the symbols used in the operation manual.

⚠ Caution: Injury or danger may occur under special conditions.

⚠ Warning

1. In case of using this unit with machinery(Ex: nuclear power control, medical equipment, ship, vehicle, train, airplane, combustion apparatus, safety device, crime/disaster prevention equipment, etc) which may cause damages to human life or property, it is required to install fail-safe device.
It may cause a fire, human injury or damage to property.
2. Do not disassemble the case. Please contact us if it is required.
It may cause electric shock or a fire.

⚠ Caution

1. This unit shall not be used outdoors.
It might shorten the life cycle of the product or cause electric shock.
2. Do not use this unit where inflammable or explosive gas exists.
It may cause a fire or explosion.
3. Please observe the rated specifications.
It may shorten the life cycle of the product.
4. Do not use this unit over rated voltage and do not supply AC power to DC power type.
It may cause product damage.
5. Wire properly after checking the power polarity.
It may cause product damage.
6. Do not use this unit where severe shock or vibration exists.
It may cause product damage.
7. In cleaning unit, do not use water or organic solvent.
It may cause electric shock or a fire.

■ Ordering information

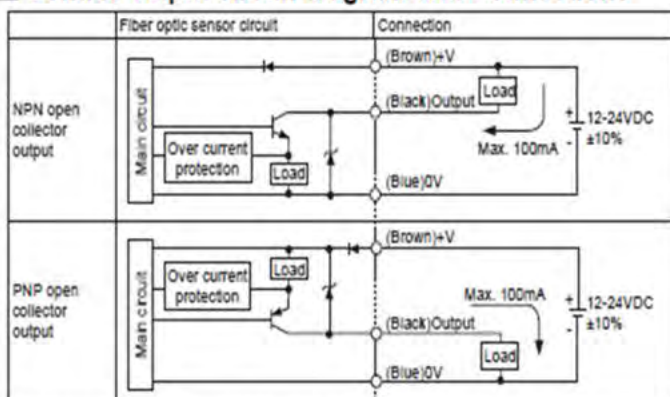
Model	Light source	Display part	Control output
BF5R-D1-N	Red LED	Dual display type	NPN open collector output
BF5R-D1-P			PNP open collector output
BF5G-D1-N	Green LED		NPN open collector output
BF5G-D1-P			PNP open collector output
BF5B-D1-N	Blue LED		NPN open collector output
BF5B-D1-P			PNP open collector output

■ Part description



- Control output indicator (Red)**
Used to indicate control output provided by comparing SV and actual incident light level.
- Sensitivity setting key**
Used to execute each operation and to set sensing sensitivity.
- PV display part (4digit, Red, 7-segment)**
Used to indicate incident light level and parameters.
- SV display part (4digit, Green, 7-segment)**
Used to indicate SV and setting data.
- Up/Down key**
 - Used to up/down setting values
 - Used to fine-adjust sensitivity
- MODE key**
 - Used to enter into program mode / data bank mode.
 - Used to move each parameter.
- Lock lever**

■ Control output circuit diagram and Connections



※The above specifications are subject to change without notice.

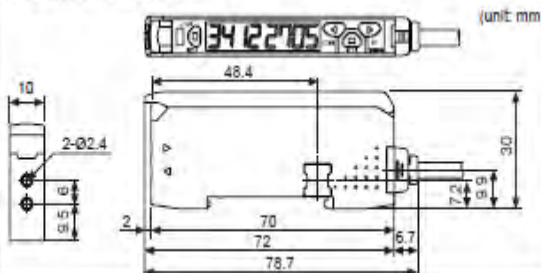
■ Specifications

Model	NPN open collector output	BF5R-D1-N	BF5G-D1-N	BF5B-D1-N
	PNP open collector output	BF5R-D1-P	BF5G-D1-P	BF5B-D1-P
Light source	Red LED(660nm, modulated)		Green LED(530nm, modulated)	Blue LED(470nm, modulated)
Response time	Ultra Fast: 50 μ s, Fast: 150 μ s, STD: 500 μ s, Long: 4ms, Ultra Long: 10ms			
Power supply	12-24VDC \pm 10%			
Current consumption	Max. 50mA			
Operation mode	Light ON/Dark ON Selectable			
Control output	NPN or PNP open collector output • Load voltage: Max. 24VDC • Load current: Max. 100mA • Residual voltage: NPN: Max. 1V, PNP: Max. 3V			
Protection circuit	Reverse power polarity protection, Overcurrent protection, Surge protection			
Display method	• Incident light level: Red, 4digit, 7-segment • SV: Green, 4digit, 7-segment • Main output indicator: Red LED			
Display function	Incident light level / SV display [4,000/10,000 resolution], Percentage display, High/Low peak value display, Normal / Reversed display			
Sensitivity setting	Manual sensitivity setting, Teaching sensitivity setting(Auto-tuning, One-point, Two-point, Positioning)			
Mutual interference prevention	Max. 8 unit sets(Automatically set regardless of response time)			
Initializing	Initializing to factory mode			
Energy saving	Normal / Energy saving 1 / Energy saving 2			
Timer	OFF, OFF Delay, ON Delay, One-shot			
Insulation resistance	Min. 20M Ω (at 500VDC megger)			
Dielectric strength	1,000VAC 50/60Hz for 1min.			
Vibration	1.5 mm amplitude at frequency of 10 to 55Hz(for 1 min.) in each X, Y, Z direction for 2 hours			
Shock	500m/s ² (Approx. 50G) in X, Y, Z directions for 3 times			
Environment	Ambient illumination	Incandescent lamp: Max. 3,000lx, Sunlight: Max. 11,000lx(received illumination)		
	Ambient temperature	-10 to 50°C, Storage: -20 to 70°C		
	Ambient humidity	35 to 85%RH, Storage: 35 to 85% RH		
Protection	IP40(IEC standard)			
Material	Case: PBT, Cover: PC			
Fiber cable tightening torque	Min. 2kgf			
Accessories	Connector type wire(ø4mm, 3-wire, length: 2m)(AWG22, Core diameter: 0.08mm, Number of cores: 60, Insulator diameter: ø1.25mm), Side connector			
Approval	CE			
Weight ^{※1}	Approx. 138g(approx. 20g)			

※1: The weight is with packaging and the weight in parentheses is only unit weight.

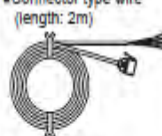
※The temperature or humidity mentioned in Environment Indicates a non freezing or condensation environment.

■ Dimensions



Accessories

- Connector type wire (length: 2m)



- Side connector



■ Installations

① Amplifier unit mounting

- Installation: Hang up the backside holder on the DIN rail and press the unit toward the DIN rail.
- Removal: Slide the back part of the unit as the ① figure and lift up the unit as the ② figure.

② Amplifier unit connection

- Remove the side cover at the connecting side as the figure ① and connect the side connector as the figure ②.

※ Be sure that if connecting a side connector with excessive force, it may cause extruded pins.

- After mounting the unit on the DIN rail, push gently both units to fasten each other.

※ Make sure that connections between the unit case and connectors correctly.

Improper connection may cause malfunction of channel setting and mutual interference prevention functions.

※ Do not supply the power while connecting / disconnecting amplifier units.

③ Fiber cable connection

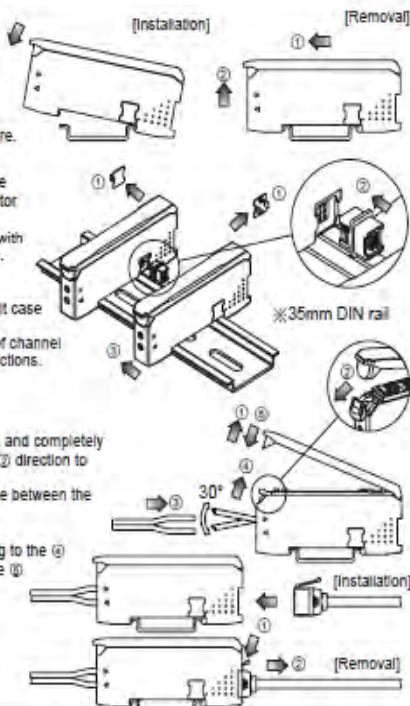
- Lift up the protective cover to the ① direction and completely lower the lock lever to the direction of to the ② direction to release the lock setting.

- Insert the cable to the ③ direction and adhere between the cable and the inside of the amplifier unit.
(Insert depth: Approx. 13mm)

- Place up the lock lever to lock the lock setting to the ④ direction and close the protective cover to the ⑤ direction.

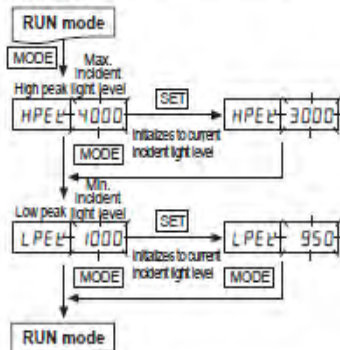
④ Wire connector connection

- Insert the connector into the amplifier unit until it clicks into the right position.
- When removing the connector, pull out the connector to the ① direction with pressing the lever downside to the ② direction.



■ High peak / Low peak monitoring and initialization function

A function to monitor the high/low peak value of incident light level. The monitored high/low peak value can be initialized.



① Press the [MODE] key for a sec to monitor max/min incident light level.

② Press the [SET] key to initialize max/min value to current incident light level during monitoring.

③ Press the [MODE] key to return to RUN mode.

■ Program mode setting

When entering into program mode, the parameter turns ON on the PV display part and the setting value flashes every 0.5 sec on the SV display part. Use the \leftarrow \rightarrow keys to set each setting value.

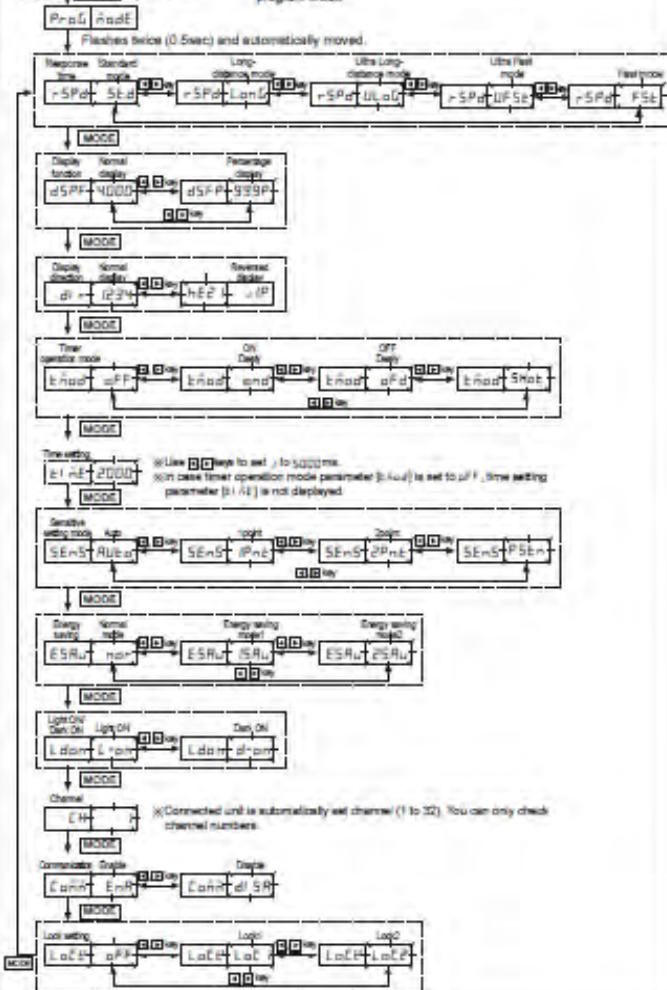
Press the **MODE** key one time after setting each parameter to save the setting and enter into next mode.

If the key lock is set, unlock the key lock before setting parameters.

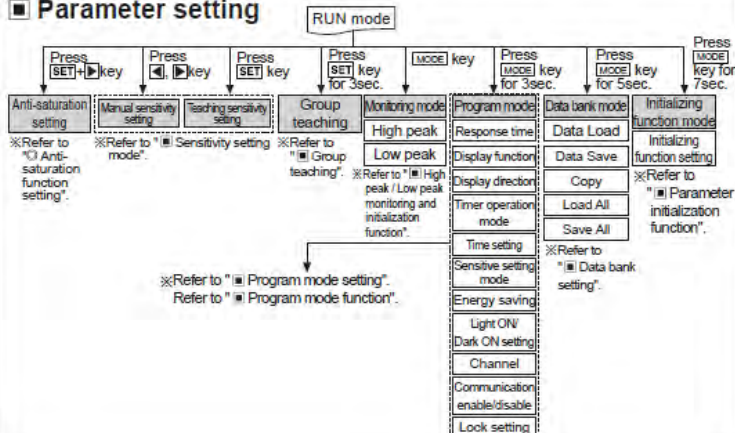
• Program mode flow

Refer to "IR Program mode function" for more information of each parameter.

Press the **MODE** key for 3 sec:
XPress the **MODE** key for 3 sec to return to RUN mode while in program mode.



Parameter setting



Program mode function

Response time setting [r5Pd]

A function to set the response time of control output - 4 response modes selectable.

- Ultra Fast [ULF]: 50μs
- Fast [FS]: 150μs
- Standard [St]: 500μs
- Long distance [Ld]: 4ms
- Ultra Long distance [ULd]: 10ms

Display function [d5PF]

A function to select display mode for incident light level on the PV display part.

- Standard display (4000) / Percentage display (999P)
- Display range of standard mode: 0 to 4000 (0 to 9999, in case of long distance mode)
- Display range of percentage mode: 0P to 999P (Decimal point is not displayed)

Display direction setting function[d1r]

A function to reverse the display direction to suit the unit installation location.

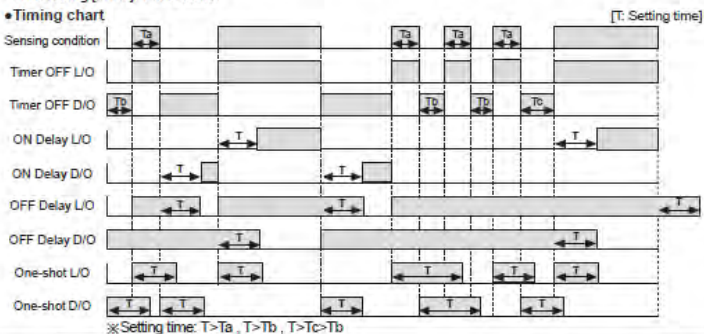
- Normal display / Reversed display selectable.
- ※Reversed display is upside-down(180°) display of normal display.

Timer function [Timer operation mode: t5ad, Time setting: t1nE]

Used when the external device's response time is too late or when control output time is too short due to small sensing object - 3 modes available.

- Timer OFF [oFF]
- ON Delay [ond]: A mode in which control output ON time is delayed for a certain period of setting time.
- OFF Delay [ofd]: A mode in which control output OFF time is delayed for a certain period of setting time.
- One-shot [shd]: A mode in which control output becomes ON or OFF within a certain period of setting time.
- Time setting [t1nE]: 1 to 5000ms

Timing chart



☐ Energy saving function [ESRu]

A function to save unit's power consumption by reducing power supplying to display parts in case of no setting input within 60sec.

- Selectable from 2 energy saving modes
 - Normal mode[*nor*]: Control output Indicator(OUT), PV/SV display parts ON
 - Energy saving mode 1[*SRu*]: Control output Indicator(OUT) and PV display part ON
 - Energy saving mode 2[*SRu*]: Control output Indicator(OUT) ON

☐ Light ON / Dark ON switching function [LdOn]

A function to set Light ON - control output is ON when incident light level is higher than setting value and Dark ON - control output is ON when incident light level is lower than setting value.

☐ Communication write enable / disable setting function [CnEn]

A function to set communication write [enable[*En*]/ disable[*Di*]] for Slave amplifier units while certain instructions(Load/Save/Copy) or Group teaching is in progress by the Master amplifier unit.

☐ Lock function [LoLk]

Two types of key lock setting available in order to prevent SV changes due to careless.

	<i>oFF</i>	<i>LoLk1</i>	<i>LoLk2</i>
Sensitivity setting	●	●	●
Data bank mode	●	○	○
Program mode	●	●	○
Parameter initialization	●	○	○

※●:Check / Setting both available
 ○:Check available
 ○:Check / Setting both unavailable

- In case of *LoLk2* mode, it is required to disable the lock function first to enter into parameter mode.

☐ Amplifier units connection using side connector

In case multiple amplifier units are connected, supply the power for one unit and the power is also supplied to the other connected units.

☐ Auto channel setting function

- The channel for each amplifier unit - connected by side connector - is automatically set in a certain direction (→) as soon as power is supplied. Channel number is increasing one by one.
- The automatically set channel can be checked in channel parameter in program mode.
- Channel range: 1 to 32

※Note that the automatically set channel cannot be changed and the channel number of each amplifier unit is not saved in case of power OFF.

☐ Mutual interference prevention function

A function to set different light receiving time for each amplifier unit in case the adjacent fiber cable is installed in order to prevent mutual interference occurring. (Set automatically when power is turned ON.)

※Mutual interference function is allowed up to maximum 8 amplifier units regardless of the unit model and response time.

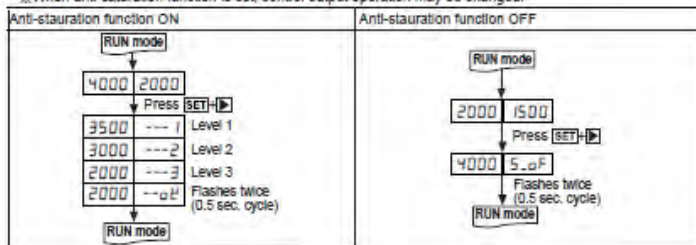
☐ Anti-saturation setting function

- When the sensing target comes too close and it is saturation status, this function corrects the optimize status.
- Press the [SET] key one time and anti-saturation function operates automatically. There are max. 10 levels.
- Press the [SET] key one time again and anti-saturation function is cleared.
- During anti-saturation, the SV display part displays current level.
- When response mode is ultra fast [*UFSt*], fast [*FSt*] or standard [*Std*] and incident light level is lower than 2200, this function is cleared and this unit returns RUN mode automatically. When response mode is long distance [*Long*], ultra long distance [*ULoG*] and incident light level is lower than 5500, this function is cleared and this unit returns RUN mode automatically.

※This function is not operated when incident light is lower by each mode [*UFSt*, *FSt*, *Std*: 2200, *ULoG*, *Long*: 5500].

※If saturation status is too high and it does not reach the target value, it stops at level 10 and this unit returns RUN mode.

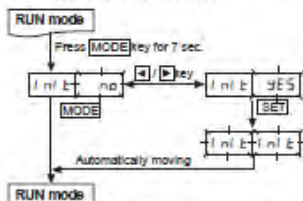
※When anti-saturation function is set, control output operation may be changed.



Parameter initialization function

- A function to initialize all parameters in memory to default value in case the possibility of missetting or misoperation.
- Set lock function [LOCK] to OFF to execute parameter initialization.
- High peak value (HPV) and low peak value (LPV) is not initialized.

Parameter Initialization flow



- ① Press the [MODE] key for 7sec in RUN mode. [Inc 1.0] parameter turns ON on the PV display part and no flashes every 0.5sec on the SV display part.
- ② Press the [MODE] key once again to return to RUN mode not to execute the initialization.
- ③ Select YES using [←], [→] keys and press the [SET] key. [Inc 1.0] flashes twice on both the PV and SV display parts.
- ④ When parameter initialization is completed, it is automatically returned to RUN mode.

Parameter value for initialization (Factory default)

Parameter	Factory default	Parameter	Factory default	Parameter	Factory default
rSPd	5.0d	Ena	OFF	Ldon	L-on
dSPF	4000	Sen5	Auto	Can	EnR
d/r	1234	ESRu	nor	LoC	OFF

SV: 2000, Bank 0 to 2: Initialized

Sensitivity setting mode

- ※ There are two methods available for sensitivity setting - manual/teaching sensitivity setting. Select the method most suitable for your application.

Manual sensitivity setting (Fine-adjusting sensitivity)

- This setting is to set the sensitivity manually.
- Used to fine-adjust sensitivity after the teaching sensitivity setting.
- Incident light level is still displayed on the PV display part during setting.



- ① Press the [←] and [→] key to set the value.
- ② There is no additional key for completing the setting. If there is no key input for 3sec after completing setting, last set value flashes twice (every 0.5sec) and automatically saved it and returned to RUN mode.

Teaching sensitivity setting (Auto-tuning, One-point, Two-point, Positioning)

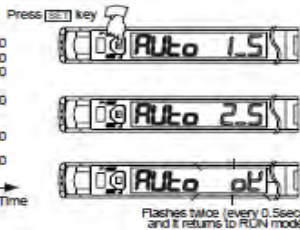
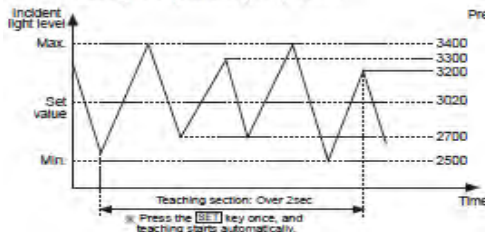
- How to enter into sensitivity setting mode in RUN mode
Press the [SET] key once in RUN mode and teaching starts. When teaching is complete, it returns RUN mode automatically.
- During teaching, the PV display part displays the set teaching mode parameter and the SV display part displays progressing status.
- ※ Refer to the below for the each teaching sensitivity setting.

1. Auto-tuning teach mode

- ※ Suitable when incident level of sensing object is not stable or when sensing fast moving objects.
- ※ Auto-tune automatically sets the sensitivity using the average value of the incident light level within a certain time period.

$$\text{Set_value} = \frac{P1+P2+\dots+Pn-1+Pn}{n}$$

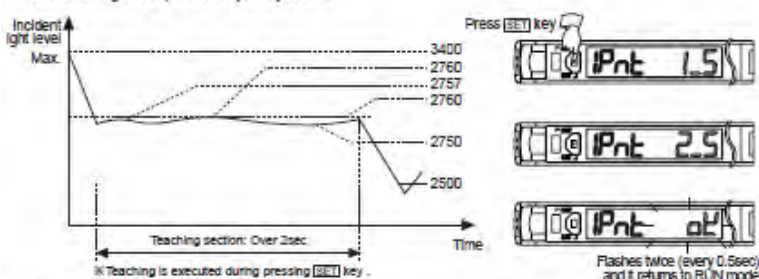
- Set Teaching mode parameter [Sen5] to Auto.



2. One-point teach mode

- ※ One of teaching modes that sets the maximum sensitivity by teaching one sensitivity setting point when setting the SV with no sensing object (Reflective) or when setting the SV with incident light level 0 (Through-beam). / Suitable for the applications required little effect of dust or background.

- Set Teaching mode parameter [SEn5] to 1Pnt.



※ SV range for sensing distance.

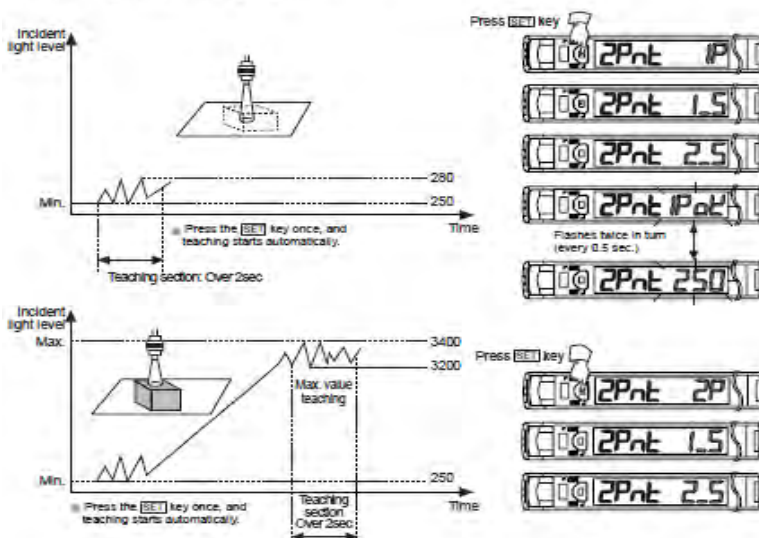
Response Time	Teaching when incident light level is 0	Teaching when incident light level is saturated
μF5t F5t 5td	In case incident light level is 0, set to 10digit.	In case incident light level is saturated, set to 3980digit.
L0G UL0G	In case incident light level is 0, set to 5digit.	In case incident light level is saturated, set to 9980digit.

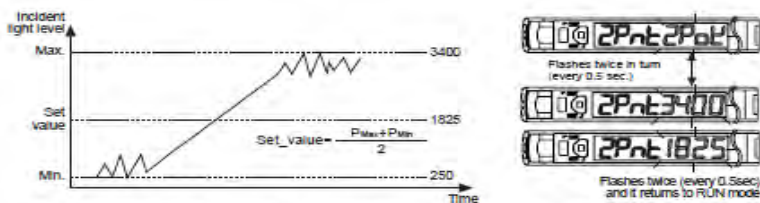
3. Two-point teach mode

- ※ Suitable when incident light level is stable or when sensing object is slow or at stopped position.

- ※ One of teaching modes that sets the sensitivity using the average value of two incident light levels obtained from two point teaching - one point with a sensing object and the other point without a sensing object.

- Set Teaching mode parameter [SEn5] to 2Pnt.

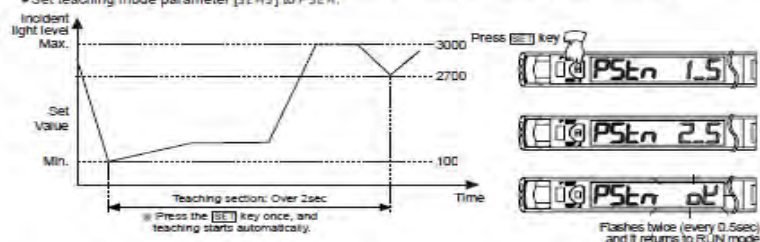




※ Make sure that two point teaching must be done within 60sec after one point teaching. If not, teaching mode is cancelled and it returns to RUN mode.

4. Positioning teach mode

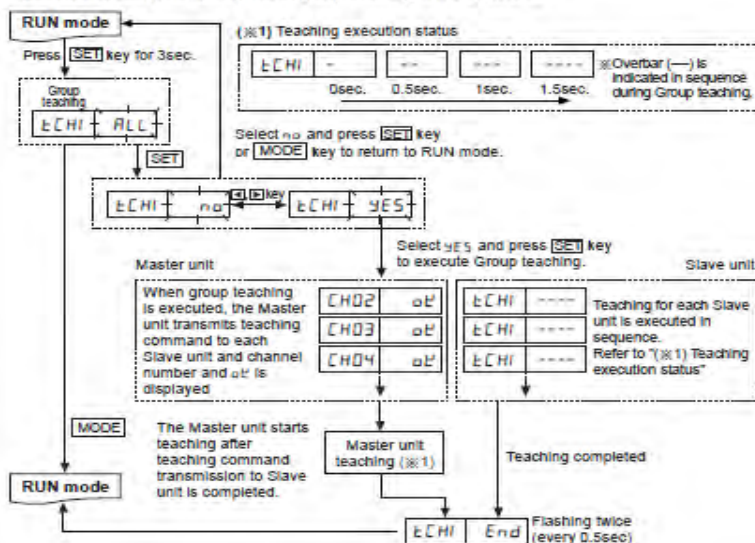
- ※ One of teaching modes that sets the sensitivity to 90% of max. incident light level when sensing an object with a hole on the surface (Through-beam) or sensing a moving object having curve (Reflective).
- ※ Set teaching mode parameter [SEn5] to PSEn.



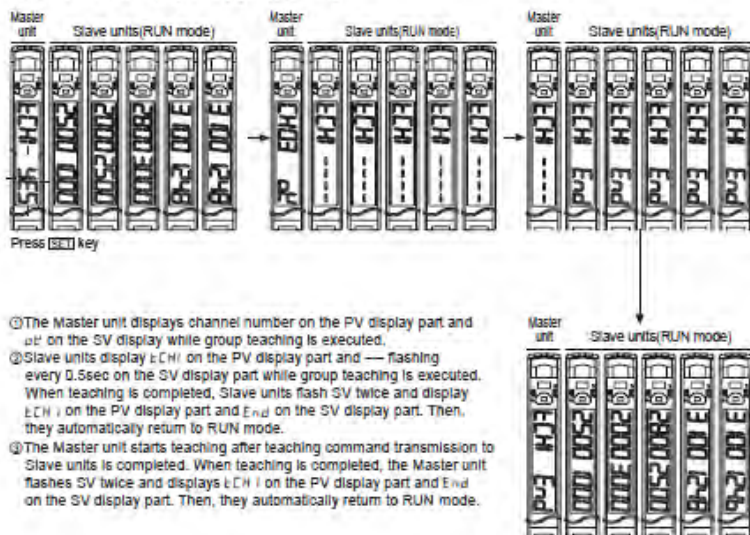
■ Group teaching

A function to set the sensitivity of Slave amplifier units according to the command of the Master amplifier unit (a certain amplifier unit) in a successive and collective way.

※ In case of two-point setting mode, group teaching is not applicable.



Master / Slave unit display during group teaching



■ Data bank setting

A function to save settings for group amplifier units in each data bank by using Master unit's command or by adjusting one amplifier unit's setting and to load required data bank when it is necessary without resetting for each unit's parameters and setting values.

- **Load [bANK]**: Loads one of the preset databanks [bANK], [1, 2] and applies it to the amplifier unit.
Detailed bank parameters can be read and changed.
- **Save [SAVE]**: Saves one amplifier unit settings in one of the databanks [bANK], [1, 2].
- **Copy [COPY]**: Copies the currently loaded bank by Master's instructions to the other amplifier unit (1:1) or the whole amplifier units (1:M).
- **Load All [dAL]**: Selects one databank by Master's instructions loads it to entire group units.
- **Save All [SuAL]**: Selects one databank by Master's instructions and saves it in entire group units.

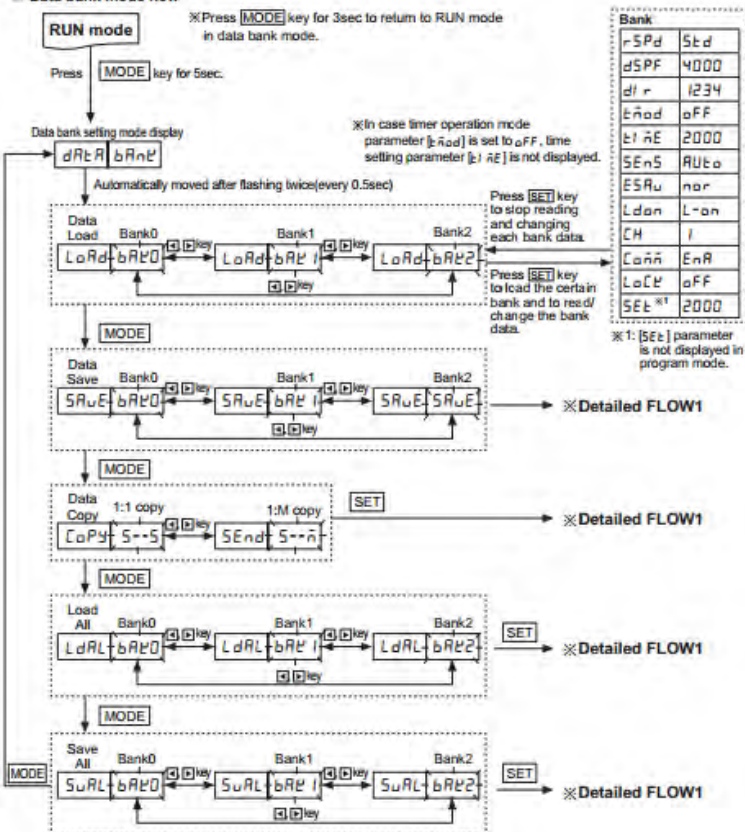
※ For BF5-D1- three data banks are available ([bANK], [bANK1] and [bANK2]) so that three different sensing object information can be saved. Each Bank can be read and changed. It allows users to detect three different sensing objects with one amplifier unit without resetting each parameter.

※ Data bank function can be executed only if all amplifier units are in RUN mode.

※ Copy/Load All/Save All functions are available only if multiple amplifier units are connected.

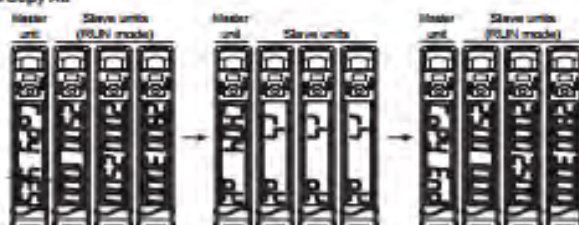
※ If lock function is set (LOCK / LOCK2) on amplifier units or if the Slave unit commanded bank Load and Save by the connected amplifier unit is disable to communication write, the command is not executed.

□ Data bank mode flow



Master / Slave unit display during data bank setting

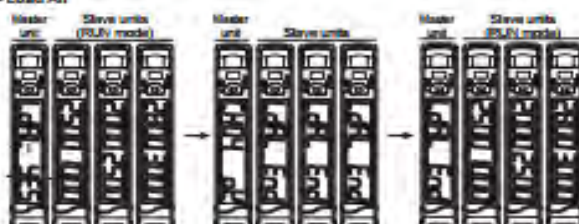
• Copy All

Press **[SET]** key

- ① While Copy All is executed, the Master unit displays the channel number on the PV display part and **aP** on the SV display part.
- ② While Copy All is executed, the Slave units display **rL** on the PV display part and **aP** on the SV display part and they return to RUN mode.
- ③ When Copy All is completed, the Master unit displays **End** on the PV display part and **End** on the SV display part. Press the **[SET]** key to return to Data Copy mode.

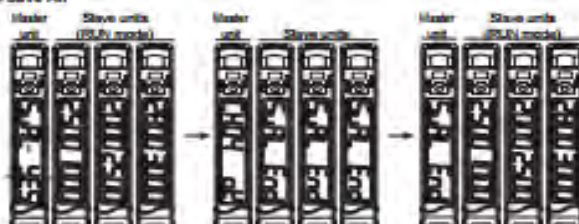
※ In case of 1:1 Copy, it progresses as same.

• Load All

Press **[SET]** key

- ① While Load All is executed, the Master unit displays the channel number on the PV display part and **aP** on the SV display part.
- ② While Load All is executed, the Slave units display **rL** on the PV display part and **End** on the SV display part and they return to RUN mode.
- ③ When Load All is completed, the Master unit displays **End** on the PV display part and **End** on the SV display part. Press the **[SET]** key to return to Load All mode.

• Save All

Press **[SET]** key

- ① While Save All is executed, the Master unit displays the channel number on the PV display part and **aP** on the SV display part.
- ② While Save All is executed, the Slave units display **SuRL** on the PV display part and **End** on the SV display part and they return to RUN mode.
- ③ When Save All is completed, the Master unit displays **SuRL** on the PV display part and **End** on the SV display part. Press the **[SET]** key to return to Save All mode.

※ If communication write enable / disable parameter **[CoRW]** for the Slave unit is set to disable at SA while Save All, Load All or Copy is executed, the master unit displays channel number on the PV display part and **aP** on the SV display part.

■ Error code

Error code	Cause	Troubleshooting
Err	In case overcurrent inflow occurs into the output circuit.	Remove the overcurrent due to the overload.
Errb	<ul style="list-style-type: none"> In case the slave is failed to execute the Master's instructions due to unstable communication line connection during Copy All/Load All/Save All/Group teaching. In case other communication errors occur. 	<ul style="list-style-type: none"> Check the amplifier units' connection again. Check the circuit and the hardware around the side connector.

■ Caution for using

- When using switching power supply as the source of supplying power, Frame Ground (F.G.) terminal shall be grounded and a condenser for removing noise shall be installed between 0V and F.G. terminal.
- Avoid using the unit where there is severe dust and corrosion, or it may cause malfunction.
- Do not start operating during initial power supplying time(3sec.).
- In case moving the unit from cold outside to a indoor room, start operating after removing moisture.
- When wiring the amplifier with high voltage line, power line in a same conduit, it may cause malfunction or mechanical problem. Please wire it separately or use different conduit.
- Do not use the unit outdoor or anywhere exposed to direct extraneous light.
In case of max. sensitivity setting, there might exist slight sensing distance difference due to each feature deviation.

※ Please keep the above precautions to avoid malfunction and damages.

■ Major products

- Photoelectric sensors
- Fiber optic sensors
- Door sensors
- Door side sensors
- Area sensors
- Proximity sensors
- Pressure sensors
- Rotary encoders
- Connectors/sockets
- Switching mode power supplies
- Control switches/Lamps/Buzzers
- I/O Terminal Blocks & Cables
- Stepper motors/drivers/motion controllers
- Graphic/Logic panels
- Field network devices
- Laser marking system(Fiber, CO₂, Nd:YAG)
- Laser welding/soldering system
- Temperature controllers
- Temperature/Humidity transducers
- SSR/Power controllers
- Counters
- Timers
- Panel meters
- Tachometer/Pulse(Rate)meters
- Display units
- Sensor controllers

Autonics Corporation
http://www.autonics.com

Satisfiable Partner For Factory Automation

- HEAD QUARTERS:
116, Ungbigongdan-gil, Yangsan-si, Gyeongsangnam-do, Korea
- OVERSEAS SALES:
#402-404, Bucheon Techno Park, 655, Pyeongcheon-ro, Wonmi-gu, Bucheon, Gyeonggi-do, Korea
TEL: 82-32-610-2730 / FAX: 82-32-329-0728
- E-mail: sales@autonics.com

The proposal of a product improvement and development: product@autonics.com

EP-KE-77-0015D

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

LAMPIRAN C

Datasheet Serat Optik FD-620-10

■ Ordering information(Fiber optic cable)

F	T		-	4	20	-	10		
									Cable type
									Fiber diameter
									Cable length
									Hood diameter
									Head form
									Sensing type
									Fiber material
No mark									
Standard type(-40 to 70℃)									
H Heat-resistance(-40 to 105℃)									
H1 Heat-resistance(-40 to 150℃)									
H2 Heat-resistance(-40 to 250℃)									
R Flexible type(1R)									
B Break-resistant type(5R)									
05 φ 0.5mm									
06 φ 0.6mm									
10 φ 1.0mm									
13 φ 1.3mm									
14 φ 1.4mm									
15 φ 1.5mm									
20 φ 2.0mm									
F φ 0.5mm, φ 0.25mm×4(Coaxial type)									
F1 φ 0.5mm, φ 0.25mm×9(Coaxial type)									
F2 φ 1.0mm, φ 0.25mm×16(Coaxial type)									
20 2m									
15 φ 1.5mm									
2 φ 2mm									
3 φ 3mm									
4 φ 4mm									
6 φ 6mm									
No mark									
Standard type(Bolt type)									
P Plastic type									
S SUS type(SUS length 90mm)									
S1 SUS type(SUS length 35mm)									
S2 SUS type(SUS length 45mm)									
C Cylinder type									
CS Cylinder+SUS type(SUS length 15mm)									
LU L type/Top view(Height 12.2mm)									
LU1 L type/Top view(Height 17.2mm)									
LU2 L type/Top view(Height 22.2mm)									
F Flat type/Flat view									
FN Flat type/Side view									
FU Flat type/Top view(Up)									
FB Flat type/Side view+top view(Bending)									
T Through-beam type									
D Diffuse reflective type									
F Plastic fiber cable									
G Glass fiber cable									

Fiber optic cable(Diffuse reflective)

Type	Appearance	Feature	Model	(Note1) Sensing distance (mm)	(Note2) Min. sensing target	Allowable bend radius	(Note3) Cable length(L)	Temperature	
Flexible type		Flat type/ Top view(Up)	FDU-210-05R	30	φ 0.0125	1R	1m Free cut	-40 to 60°C (Humidity: 35 to 85% RH)	
		Flat type/ Side view	FDN-210-05R						
		Flat type/ Flat view	FDF-210-05R	15	φ 0.04				
		M3 Bolt	FD-320-05R	25	φ 0.0125				
		M4 Bolt	FD-420-05R						
		M6 Bolt	FD-620-10R	80	φ 0.04				
Break- resistant type		M3 Bolt	FD-320-06B	35	φ 0.0125	5R	2m Free cut	-40 to 70°C (Humidity: 35 to 85% RH)	
		φ3 Cylinder type	FDC-320-06B						
		M4 Bolt	FD-420-06B	100					
		M6 Bolt	FD-620-13B						
Standard type		M3 Bolt	FD-320-05	40	φ 0.03	15R	2m Free cut	-40 to 70°C (Humidity: 35 to 85% RH)	
		M4 Bolt	FD-420-05						
		φ3 Cylinder type	FDC-320-05						
		φ3 Cylinder type SUS type (50mm)	FDCS-320-05						
		M3 Bolt SUS type (90mm)	FDS-320-05			15R (SUS part: 10R)			
		M3 Bolt SUS type (45mm)	FDS2-320-05						
		M4 Bolt SUS type (90mm)	FDS-420-05						
		M4 Bolt SUS type (45mm)	FDS2-420-05						
		M6 Bolt	FD-620-10	120		30R			
		M6 Bolt SUS type (90mm)	FDS-620-10			30R (SUS part: 10R)			
		M6 Bolt SUS type (45mm)	FDS2-620-10						
		Plastic type	FDP-320-10			30R			

※(Note1) The sensing distance is a standard for Red LED of BF4 Series and 10% of Red LED is applied when it is Green LED.
It is applied to 40% of sensing distance for BF3RX.

※(Note2) Min. sensing target is a value measured opaque material in accurate output status and the sensing distance is different with the rated sensing distance(Note1).

※(Note3) Fiber optic cable out of the rated length can be customizable.

※(Free cut) The sensing distance can be shortened about max. 20% than the normal according to condition of the cable.
[FC-2] should be used for cutting fiber cable.]

BIODATA PENULIS



Penulis memiliki nama lengkap Mohammad Ainul Yaqin, dilahirkan di Probolinggo pada tanggal 03 Juli 1993 dari pasangan Bapak Hasani Abd. Mannan dan Ibu Siti Sumila. Penulis merupakan anak ketiga dari tiga bersaudara dan menjadi anak tunggal sejak dilahirkan. Penulis telah menempuh pendidikan formal di Madrasah Ibtidaiyah Miftahul Ulum Jrebeng Kulon Probolinggo, MTs Negeri Kota Probolinggo, serta SMA Unggulan Haf-Sa Zainul Hasan Genggong Probolinggo sembari mengenyam pendidikan agama islam di Pondok Pesantren Zainul Hasan Genggong Probolinggo. Penulis menempuh studi S1-nya di Jurusan Fisika Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya dengan beasiswa dari Kementrian Agama Republik Indonesia melalui Program Beasiswa Santri Berprestasi (2011-2015).

Selama kuliah di ITS, Penulis aktif berorganisasi di HIMASIKA ITS (2012-2013) sebagai staff Departemen RISTEK, CSSMoRA ITS (2012-2013) sebagai staf Departemen Syiar, FOSIF ITS (2012-2013) sebagai Kepala Divisi Tablighul Islam Departemen Syiar, BPU JMMI ITS (2012-2013) sebagai staff Biro Pengajaran, CSSMoRA ITS (2013-2014) sebagai Kepala Departemen Syiar, FOSIF ITS (2013-2014) sebagai Ketua Umum, dan JMMI ITS (2014-2015) sebagai Koordinator Wilayah FMIPA FSLDJ ITS.

Dalam hal akademik, Penulis pernah menjadi asisten dosen Fisika Dasar I & II, asisten laboratorium Fisika Dasar I & II, serta

asisten laboratorium Fisika Laboratorium Bidang Optoelektronika yang menangani tentang serat optik. Akhir kata, bila ada kritik dan saran serta diskusi, silahkan kirim ke mohainuly@gmail.com atau fb: [ainul66@facebook.com](https://www.facebook.com/ainul66)